FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

5.06(49.3)B

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

QUATRIÈME SÉRIE

TOME IV — 20 JUILLET 1923

(QUARANTE-DEUXIÈME ANNÉE ; TOME LXXXIV DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(MM. F. Willaert et H. Dopp)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11
Compte chèques postaux 38022

—

1923

24 23897 Jan 14
X

Fernand-Jean-Baptiste-Marie

BERNARD comte de MONTESSUS de BALLORE

Remarquer l'occasion, la saisir, la suivre, la développer si besoin en est, la pousser jusqu'aux plus extrêmes limites de son domaine, telle semble être une voie qui mène bien souvent au succès dans la carrière scientifique. Dans l'application, cette méthode réclame certes et de la perspicacité et de la constance, du courage toujours, de l'abnégation parfois. Le succès pourra être lent à venir. Il n'importera, car, pour toute âme vaillante, c'est une consolation profonde que de sentir son rêve de jeunesse se réaliser dans l'âge mûr.

Le sismologue Fernand-Jean-Baptiste-Marie Bernard comte de Montessus de Ballore, dont la Société scientifique de Bruxelles déplore la toute récente perte, pourrait, à juste titre, être cité comme un exemple parfait de la mise en pratique du programme formulé en tête de ces lignes.

Né en 1851, à Dompierre-sous-Sanvignes (Saône-et-

Loire), de Philippe comte de Montessus de Ballore, et de Françoise Lafouge, Montessus de Ballore appartenait à une vieille famille bourguignonne : il était par sa mère petit-fils du botaniste Philippe de Commerson, de l'Académie des Sciences, et, d'autre part, neveu de l'ornithologiste Ferdinand de Montessus de Ballore, fondateur du musée d'Autun, ce remarquable dépôt où l'ingéniosité des collectionneurs locaux a rassemblé de vrais trésors. Comme autres faits propres à caractériser le milieu familial et à en préciser l'influence, il faut encore mentionner qu'un des frères de Monte sus de Ballore, Henry, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, fit faire de sérieux progrès à l'industrie de la papeterie, et qu'un autre, Robert, ancien professeur aux Facultés catholiques de Lille et professeur libre en Sorbonne, actuellement professeur à l'Office national météorologique de France, obtint, en 1905, le grand prix de mathématiques de l'Académie des Sciences.

Montessus débuta dans la carrière des armes. A l'École polytechnique, il fut d'une promotion illustre ; au nombre de ses camarades, on compte le maréchal Foch. D'abord instructeur à Saumur, il fut, en 1879, choisi comme chef de la mission militaire au San-Salvador. C'est là, sur cette terre merveilleuse de l'Amérique centrale où flotte encore, comme un parfum, le souvenir du passage de grands voyageurs, parmi lesquels de Humboldt, que séjournant assez longuement, de 1881 à 1885, Montessus de Ballore devina et saisit l'occasion d'études qu'il devait poursuivre sa vie durant jusqu'à les pousser à un point de perfection insurpassé.

Ses deux premières communications à l'Académie des Sciences sont des lettres à M. Cornu au sujet de ces extraordinaires lueurs crépusculaires observées depuis novembre 1883 et que, d'un consentement assez unanime, les météorologistes attribuèrent à la présence, dans les hautes couches de l'atmosphère terrestre, de poussières

cendreuses provenant de la gigantesque explosion volcanique de l'île de Krakatoa (26-27 août 1883). Dès la première lettre, datée du 9 février 1884, on remarque cependant que les préoccupations de Montessus sont autres : « Dans quelques mois, je vous enverrai le résultat de mes observations séismiques. Je les crois relativement importantes pour la question, au centre de l'Amérique tout au moins ». C'était en effet l'étude des tremblements de terre qui était et devait être jusqu'à la fin de ses jours l'objet exclusif de son activité scientifique.

Plus d'un an s'écoula avant que, le 5 mars 1885, il ne réalisât sa promesse. Mais, dès ce moment, on pouvait augurer du plein succès de sa carrière de savant. Son coup d'essai fut un coup de maître. En même temps qu'une note riche d'enseignements, Montessus adresse en effet à l'Académie un exemplaire du travail original dans lequel il expose les résultats de ses consciencieuses recherches sur les tremblements de terre et les éruptions volcaniques dans l'Amérique centrale. Grâce à la munificence du gouvernement de San Salvador, cet ouvrage se trouvait déjà imprimé en espagnol. Il contenait en germe l'œuvre du grand disparu. Toutes les causes de ses désenchantements, mais aussi et surtout des joies les plus sereines que lui vaudront ses conquêtes scientifiques, s'y retrouvent indiquées par des touches très nettes.

Bien humain, bien banal presque est le motif qui poussa ce chef de mission militaire à se mettre, très pacifiquement d'ailleurs, en campagne. « Dès mon arrivée dans ce pays, il y a quatre ans, écrit-il à M. Cornu, j'étais frappé et de la fréquence des tremblements de terre dans cette région et de la facilité avec laquelle les gens du pays se permettaient de les annoncer à l'avance, en basant la plupart du temps leurs affirmations sur des données météorologiques. Je pensai dès lors qu'il serait facile de donner un lien scientifique à cet ensemble de suppositions, et cela d'autant plus que nombre de per-

sonnes ayant habité les diverses parties de l'immense côte du Pacifique (Chili, Pérou, Équateur, Mexique, etc.) préconisaient les mêmes règles de prévisions. Je me mis donc à l'œuvre, compulsant tous les documents possibles, mais en me limitant à la région comprise entre les deux isthmes de Panama et de Tehuantepec. Je fus vite désabusé et convaincu que, s'il y avait une relation entre les phénomènes météorologiques et les tremblements de terre, il fallait d'abord en éliminer ceux qui résultent des éruptions volcaniques.... Je suis arrivé finalement à la négation absolue de la possibilité de prédire les tremblements de terre, au moins dans l'état actuel de nos connaissances. » Mais si le point de départ était reconnu inexact, il y avait des préjugés à détruire, des bases nouvelles à rechercher : « Néanmoins je suis bien convaincu que, si le travail que j'ai exécuté sur une faible fraction de l'immense chapelet volcanique compris entre le détroit de Behring et le cap Horn était complété pour toute la ligne, on arriverait à des relations de périodicité ; je crois les avoir démêlées, mais elles n'ont pas assez d'évidence ou de probabilité pour que je puisse me permettre de les énoncer ». Quelle ardeur et quelle prudence ! En face d'un programme aussi vaste, c'étaient bien là les qualités nécessaires.

Peu après, de retour au pays natal, où il avait été chargé de l'inspection des études à l'École polytechnique, Montessus poursuivait en effet dans la voie où il s'était engagé.

Tout d'abord, il tenta d'achever le renversement des idoles, en insistant sur l'inexistence de relations entre les tremblements de terre et les phases de la lune d'une part, et, d'autre part, avec les saisons. Avec la netteté d'un esprit tout imprégné d'une solide formation mathématique, il avait d'ailleurs et préalablement insisté, dans une note, sur la méthode à suivre pour la recherche de la corrélation de deux ordres de faits, indiquant que les concomi-

tances de tremblements de terre avec des phénomènes les plus divers n'impliquaient pas aussi facilement relation d'effet à cause que beaucoup se plaisaient et se plaisent encore à se le représenter. Il faut insister sur pareil détail, parce qu'il fournit la mesure de la préparation générale que Montessus possédait au moment où il se lança dans le champ de recherches où il devait se distinguer. Nombreux sont en effet ceux qui doutent de la nécessité de semblable préparation. Grâce à des statistiques étendues, il put établir que c'est en vain qu'on a tenté de rechercher dans les milieux cosmiques ou atmosphériques les causes premières des tremblements de terre. Il ne cessera pas, surtout sur le tard, de revenir sur ce sujet. Et l'on doit bien reconnaître que certains vulgarisateurs, aspirants-prophètes, rendent aujourd'hui encore bien nécessaire tout au moins le rappel des démonstrations faites par Montessus : taches solaires, lune, saisons, pluies, sont, à chaque occasion, mais à tort, rendues responsables de l'instabilité de la croûte terrestre.

Entrant d'ailleurs dans un domaine plus positif, Montessus de Ballore commence bientôt d'édifier patiemment ce vaste monument statistique, dont il avait rêvé au San Salvador. Il suffit de parcourir la liste de ses publications pour assister au développement de son œuvre et, du même coup, juger de l'accueil bienveillant qui lui est fait, peut-on dire, en tous pays. Ses études portent tour à tour sur la Suisse, la France et l'Algérie, le Mexique, l'Europe centrale, la Scandinavie, la péninsule ibérique, l'Italie, les Indes Néerlandaises, l'Empire britannique, le Japon, les États-Unis, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud, l'Asie moyenne, la Russie, les régions balkaniques et l'Anatolie, la Grèce, la Roumanie et la Bessarabie, les Philippines, les Antilles, les Océans. Maintes fois ce sont les pays intéressés qui publient le mémoire qui leur est spécialement consacré. Simultanément Montessus de Ballore s'inquiète de questions

d'ordre général et leur consacre quelques notes ou même des travaux assez étendus. Ayant, après dix ans d'enquête, terminé une première exploration sismologique du Globe, il ne cessera de produire des mises au point de la situation de régions intéressantes, tout en y trouvant l'occasion d'étudier des problèmes ou des points spéciaux.

Enfin, après 25 années d'efforts, Montessus publie en 1906 son premier livre sur les tremblements de terre, la *Géographie sismologique*. Il a la joie de pouvoir y placer une préface dans laquelle l'un des maîtres les plus universellement appréciés, Albert de Lapparent, constate que, si, en 1891, l'opinion régnante était que la cause des tremblements de terre devait être recherchée dans des explosions volcaniques souterraines, les études poursuivies depuis lors démontrent que les tremblements de terre les plus destructeurs sévissent dans les pays dépourvus de volcans actifs et atteignent leur maximum d'intensité juste dans les régions de l'écorce terrestre que la géologie désigne comme étant les plus disloquées. L'enquête statistique, poursuivie par Montessus et présentée ici sous une forme aussi homogène et aussi complète que le permettent les données existantes, apporte une démonstration très nette de la conclusion formulée dans la préface. C'est d'ailleurs de façon bien modeste, presque incidente, que l'auteur énonce ses idées sur les causes probables du plus grand nombre des tremblements de terre, encore que ces idées tout originales soient très nettes tant en ce qui concerne la dissymétrie du relief géographique des régions sismiques que le rôle des géosynclinaux mésozoïques et cénozoïques.

Peu après la publication de ce premier volume, en 1907, Montessus recevait une consécration officielle de ses efforts : il était appelé par le Gouvernement chilien au poste de directeur des services sismologiques de la République du Chili, en remplacement du docteur Frédéric Ristenpart, professeur à l'Université de Berlin. Sem-

blable titre eût bien été de nature à lui assurer aux yeux de certaines gens le crédit nécessaire pour la publication en cette même année d'un second ouvrage, celui-ci un vrai traité de *La Science sismologique*. Mais puisqu'il était besoin de présenter l'ouvrage au public, ce fut, cette fois, le grand maître viennois, Édouard Suess, qui prit sur lui ce soin et s'en acquitta dans ce style si poétique, si profondément philosophique qui caractérise ses œuvres de science transcendante et de haut envol. Quant au livre lui-même, c'est un exposé général, d'allure éminemment didactique, où, de l'avis de Suess, l'auteur a mérité la reconnaissance des observateurs et forcé l'attention du monde de la science. Aussi ce livre a-t-il d'emblée pris rang parmi les ouvrages classiques.

Ce serait toutefois méconnaître totalement le caractère de Bernard de Montessus que de ne pas soupçonner que ses fonctions officielles furent surtout pour lui l'occasion d'amplifier et d'intensifier ses recherches de prédilection. Qui voudra parcourir la liste de ses travaux s'en convaincra aisément.

Une part de son activité débordante fut certes absorbée par des tâches inhérentes à toute fonction de caractère plus ou moins administratif. Il fut contraint de revenir à son propre point de départ. C'est que la prévision, la prédiction même des tremblements de terre font, à juste titre, l'objet d'un désir intense de la part des populations qui se trouvent exposées à ces fléaux. Elles ne conçoivent pas toujours, dans leur ignorance, l'intérêt de ces observations qui vont se poursuivant quiètement pendant que se répètent les désastres et les catastrophes. Persuadé de l'impuissance où se trouve l'homme d'agir sur les causes mêmes des tremblements de terre et encore de son ignorance actuelle d'en démêler toutes les lois, de Montessus avait cependant, et depuis longtemps, tourné ses regards vers les moyens d'action présentement les plus efficaces, ceux des mesures hygiéniques ou prophylactiques, si l'on

peut ainsi dire. Dès 1894, il avait étudié les effets des tremblements de terre sur les constructions et les moyens d'y remédier. Une part importante, à peu près le cinquième du volume, est, dans le traité de *La science séismologique*, faite à l'art de bâtir en pays instable. Aussi, publiant, en 1911 un petit ouvrage de vulgarisation, intitulé *La Sismologie moderne*, résumé de ses grands traités, l'auteur prit-il soin d'y ajouter un chapitre sur les constructions asismiques. Depuis 1908, il donnait un cours sur cette matière aux ingénieurs et architectes de l'Université de Santiago.

La mort l'a surpris au moment où il livrait à l'impression deux ouvrages qui forment le complément de ses deux premiers livres et le couronnement de son œuvre. De l'un, l'*Ethnographie sismique et volcanique*, les lecteurs de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ont déjà eu certaine connaissance en 1921. L'autre, intitulé la *Géologie sismologique*, est l'aboutissement de l'ensemble des recherches de Montessus sur les causes des tremblements de terre. De toutes les théories proposées, il avait, presque dès l'abord, très nettement entrevu que la logique était en faveur de celles qui assignent à ces phénomènes une origine interne au globe terrestre, mais relativement superficielle. Le volume qu'il a consacré à la *Science sismologique* renferme, en annexe, une « note sur la théorie des tremblements de terre » ; c'est une indication très nette des préoccupations de l'auteur. Ces préoccupations étaient déjà manifestées dans diverses études, dont une consacrée à l'Erzgebirge ; elles se traduiront encore, de 1907 à 1922, dans toute une série de publications préliminaires. Montessus ne peut, en effet, se contenter d'avoir réduit à néant la notion de l'épicentre ou foyer d'ébranlement, et d'avoir montré qu'il s'agissait de surfaces en mouvement. Il soupçonne depuis longtemps qu'il y a souvent autre chose dans les mouvements de l'écorce terrestre qu'un simple jeu de marqueterie, pour reprendre

l'expression employée en 1906, par A. de Lapparent. Suess avait eu raison d'entrevoir que Montessus de Ballore en viendrait à établir qu'il n'est point exagéré de dire que nous assistons aujourd'hui à la naissance des chaînes de montagnes. Le voici, qui établit enfin, en effet, non seulement que les géosynclinaux sont des régions instables, mais que les mouvements orogéniques et épirogéniques vont se poursuivant de nos jours avec des intensités variées certes, mais de façon très nette. Sans doute, si Dieu lui avait prêté vie, en serait-il arrivé à des conclusions encore plus fortes et plus générales, en se basant sur une critique plus approfondie des conceptions tectoniques. Le nombre imposant d'enquêtes fouillées que nous offre son dernier ouvrage emportera cependant la conviction. Au reste lui-même, il le déclare, ne désirait que fournir une deuxième approximation dans l'élaboration d'une théorie générale. On trouve, en outre, dans cet ultime volume une série d'aperçus intéressants sur les effets secondaires des tremblements de terre et la topographie sismique, enfin sur la répartition de la sismicité à la surface du globe, « le problème le plus élevé qu'on puisse actuellement aborder en géographie et en géologie sismologiques ».

Parvenu ainsi au faîte de la science humaine de son époque dans le domaine qu'il s'était choisi, Montessus de Ballore avait de la façon la plus parfaite accompli sa tâche scientifique. Lui-même a pu s'en rendre témoignage. Ayant rappelé cette sentence, formulée par Henri Poincaré : « On fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres, mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison », il ajoute : « C'est dans cet esprit qu'ont été successivement élaborées la Géographie, la Science et la Géologie sismologiques ; un plan préalable nous a guidé dans l'arrangement systématique des faits mis en œuvre et ce fut l'aspect géologique des tremblements de terre...

On pourra donc nous excuser de conclure de longues recherches par un essai de synthèse des phénomènes sismiques. » En vérité, le projet qu'il conçut dans l'instant même où lui fut révélé l'intérêt des études qui devaient le passionner sa vie durant, Montessus de Ballore l'a réalisé de façon complète pour le plus grand progrès des connaissances humaines.

La *Société scientifique de Bruxelles* et la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES s'honorent d'avoir compté Bernard comte de Montessus de Ballore au nombre de leurs membres et de leurs collaborateurs très fidèles.

ARMAND RENIER,
Chef du Service géologique de Bruxelles.

Liste des publications de

FERNAND-JEAN-BAPTISTE-MARIE

BERNARD comte DE MONTESSUS DE BALLORE

(1851 — 1923)

SIGNES EMPLOYÉS :

A. S. P. N. ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES. Supplém. à la BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE. Genève.
A. S. S. B. ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES. Louvain.
C. R. COMPTES RENDUS HEBDOMADAIRES DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES. Paris.
M. S. A. A. MEMORIAS Y REVISTA DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ANTONIO ALZATE. Mexico.
R. Q. S. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Louvain.
R. S. REVUE SCIENTIFIQUE. Paris.

1884 — Sur les lueurs crépusculaires observées à San-Salvador (Amérique Centrale). C. R., t. XCVIII, pp. 761-762.
1884 — Tremblores y erupciones volcanicas en Centro-America-San-Salvador, in-8°.

1885 — Sur de nouvelles lueurs crépusculaires observées récemment dans l'Amérique Centrale (1884). — C. R., t. C, p. 191.

1885 — Sur les tremblements de terre et les éruptions volcaniques dans l'Amérique Centrale. — C. R., t. C, pp. 1312-1315.

1885. — Les volcans de l'Amérique Centrale. — R. S., t. 35, pp. 804-807.

1886 — La constitution interne du globe et les volcans. — R. S., t. 38, pp. 369-371.

1887 — Note sur la méthode de recherche de la corrélation entre deux ordres de faits. — C. R., t. CIV, pp. 1148-1149.

1888 — Tremblements de terre et éruptions volcaniques au Centre-Amérique. — Mém. Soc. scient. natur. Saône-et-Loire. Dijon, in-4°.

1889 — Sur la répartition horaire des séismes et leur relation supposée avec les culminations de la lune. — C. R., t. CIX, pp. 327-330 et 392.

1889 — Étude sur la répartition horaire diurne-nocturne des séismes et leur prétendue relation avec les culminations de la lune. — A. S. P. N., 3me pér., t. XXII, pp. 409-430. — M. S. A. A., t. III, pp. 105-121.

1891 — Sur la répartition saisonnière des séismes. — C. R., t. CXII, pp. 500-502.

1891 — Étude critique des lois de répartition saisonnière des séismes. — M. S. A. A., t. IV, pp. 277-292. — A. S. P. N., 3me pér., t. XXV, pp. 504-517.

1891 — Universalité et nécessité de la loi newtonienne de l'attraction. — R. S., t. 48, pp. 786-787.

1992 — La Suisse sismique. — A. S. P. N., t. 28, pp. 31-39.

1892 — La France et l'Algérie séismiques. — Ann. Mines. Paris. 9me série, t. II, pp. 317-328, pl. IX-X.

1892 — Mexico Sismico. — M. S. A. A., t. VII, pp. 49-60. (Rés. pp. 59-60).

1892 — Sur la recherche des conditions géographiques et géologiques caractérisant les régions à tremblements de terre. — C. R., t. CXIV, pp. 933-935.

1893 — Étude statistique sur le recrutement de l'École Polytechnique. — Journ. École polyt., t. 63, pp. 27-37.

1894 — Effets des tremblements de terre sur les constructions et moyens d'y remédier. — Revue du Génie civil. Paris. — Bol. mens. Observ. meter. Mexico, 1896, p. 37.

1894 — L'Europe Centrale sismique. — A. S. P. N., 3me pér., t. XXXI, pp. 5-20.

1894 — Le monde scandinave sismique. — Geol. För. Forh. Stockholm, t. XVI, pp. 225-230.

1894 — La Peninsula Iberica seismica y sus colonias. — Ann. soc. hist. natur. Madrid. Madrid, t. 23, pp. 175-184.

1894 — Sur la rose sismique d'un lieu. — C. R., t. CXVIII, pp. 724-726.
1895 — L'Italie sismique. — A. S. P. N., 3me pér., t. XXXIII, pp. 33-61.
1895 — Sur une évaluation approchée de la fréquence des tremblements de terre à la surface du globe. — C. R., t. CXX, pp. 577-579.
1895 — Relation entre le relief et la sismicité. — C. R., t. CXX, pp. 1183-1186. — Ciel et Terre. Bruxelles, t. XVI, pp. 232-236.
1895 — Relation entre le relief et la sismicité. — A. S. P. N., 3me pér., t. XXXIV, pp. 113-133.
1895 — Sur une limite supérieure de l'aire moyenne ébranlée par un tremblement de terre. — C. R., t. CXXI, pp. 434-435.
1896 — Les Indes Néerlandaises sismiques. — Natuurk. Tijdschr. Nederl.-Ind. Batavia, t. LVII, pp. 347-360.
1896 — Seismic Phenomena in the British Empire. (Translated by L. L. Belinfante). — Quart. Journ. Geol. Soc. London, 1896, Vol. LII, nº 208, pp. 651-668, pl. XXX-XXXIII.
1897 — Le Japon sismique. — A. S. P. N., 4me pér., t. IV, pp. 125-146 et 209-230, pl. III.
1897 — Relation entre la fréquence des tremblements de terre et leur intensité. — Boll. Soc. Sismol. Ital. Modena, t. III, pp. 9-14.
1898 — Les Etats-Unis sismiques. — A. S. P. N., 4me pér., t. V, pp. 201-206.
1898 — L'Amérique Centrale et l'Amérique du Sud sismiques. — M. S. A. A., t. XI, pp. 263-277, pl. VIII.
1899 — L'Asie moyenne sismique. De la Chine à la Perse et à l'Arabie. — A. S. P. N., 4me pér., t. VII, pp. 344-348.
1899 — Description sismique de l'Empire russe. — Bull. Com. Geol. Russie. Saint-Petersbourg, t. XVIII, pp. 195-223, 1 carte. (Rés. en français, pp. 231-233).
1900 — Introduction à un essai de description sismique du globe et mesure de la sismicité. — Beitr. z. Geophysik. Leipzig, vol. IV, pp. 331-332.
1900 — Le Mexique sismique. — A. S. P. N., 4me pér., t. IX, pp. 253-268.
1900 — Geographische Verbreitung der Erdbeben in Mexico. — Himmel und Erde, 1900. pp. 518-559.
1900 — Sismicité de la péninsule balkanique et de l'Anatolie. — Bull. Com. Géol. Russie. St-Pétersbourg, t. XIX, pp. 31-53. (En russe, résumé en français).
1901 — La Grecia sismica. — Boll. Soc. Sismol. Ital. Modena, 1900-1901, vol. VI, pp. 115-130.
1901 — Romania si Bessarabia sismice. (La Roumanie et la Bessarabie sismiques). — Anal. int. Météorol. al Romaniei. Bucarest, t. XVII, part. 2, pp. 57-75.

1901 — Sur l'impossibilité de représenter par des courbes isophygmiques, ou d'égale fréquence de séismes, la répartition de l'instabilité dans une région sismique donnée. — C. R., t. CXXXIII, pp. 455-457.

1901 — De seismen der Philippijnen. — NATUURK. TIJDSCHR. NEDERL.-INDIE. Batavia, t. LXI, pp. 40-50.

1901 — Les Océans sismiques. — A. S. P. N., 4me pér., t. XI, pp. 96-98.

1902 — La première conférence sismologique internationale de Strasbourg. — R. S., 4me sér., t. 18, pp. 481-489, 609-614. — M. S. A. A., t. XIX, Revista, pp. 12-27.

1902 — Les manifestations volcaniques et sismiques dans les Antilles. — REV. GÉN. SCIENC. PURES ET APPLIQ., Paris, t. 13, pp. 669-674.

1902 — Les tremblements de terre de plissement dans l'Erzgebirge. — C. R., t. CXXXIV, pp. 96-98.

1902 — L'Erzgebirge géologico-sismique. — A. S. P. N., 4me pér., t. XIII, pp. 375-395.

1902 — Non-existence et inutilité des courbes isophygmiques ou d'égale fréquence des tremblements de terre. — BEIT. Z. GEOPHYSIK. Leipzig, t. V, pp. 467-485.

1902 — Sur la possibilité d'un exhaussement récent de l'extrémité sud de la presqu'île de Quiberon. — ANN. SOC. GEOL. NORD. Lille, t. XXXI, pp. 310-312.

1902 — Sur l'influence sismique des plissements armoricains dans le Nord-Ouest de la France et dans le Sud de l'Angleterre. — C. R., t. CXXXIV, pp. 786-788. — BULL. SOC. BELGE GÉOL. Bruxelles, t. XVI, p. 215.

1902 — Ueber das vermeintlich regelmässige Fortschritten des Epicentrums bei Erdbeben mit zahlreichen Nachbeben. — DIE ERDBEBEN WARTE. Laibach, t. II, pp. 15-17.

1902 — Sur les causes générales d'instabilité sismique dans l'Inde. — C. R., t. CXXXV, pp. 598-600.

1902 — La théorie sismico-géologique du Déluge, par Suess. — R. Q. S., 3me sér., t. II, pp. 577-589.

1903 — Archéologie et sismologie. — COSMOS. Paris, 1902, nº 935, p. 817.

1903 — Archéologie et sismologie. — BULL. SOC. BELGE ASTRONOM. Bruxelles, t. VIII, pp. 24-28.

1903 — Sur les anomalies de la pesanteur dans certaines régions instables. — C. R., t. CXXXVI, pp. 705-707.

1903 — Considerazioni a proposito dei terremoti della vallata del Po. — BOLL. SOC. SISMOLOG. ITAL. Modena, 1902-1903, vol. VIII, pp. 241-243.

1903 — Les animaux prévoient-ils les tremblements de terre ? — R. Q. S., 3me sér., t. IV, pp. 228-235.

1903 — Essai sur le rôle sismogénique des principaux accidents géologiques. — BEITR. GEOPHYSIK. Leipzig, t. VI, pp. 21-41. — BULL. SOC. BELGE GÉOL., t. XVII. Traduc. et reprod., pp. 49-68.

1903 — La deuxième conférence sismologique internationale de Strasbourg. — R. S., 4me sér., t. XX, pp. 609-614.

1903 — Sur les régions océaniques instables et les côtes à vagues sismiques. — A. S. P. N., 4me pér., t. XV, pp. 640-660. — M. S. A. A., t. XX (Rev.). pp. 28-33.

1903 — Relations géologiques des régions stables et instables du Nord-Ouest de l'Europe. Première partie : Iles Britanniques et Bretagne. — A. S. S. B., t. XXVII, 2me part., pp. 216-262.

1903 — Sur l'existence de deux grands cercles d'instabilité sismique maxima. — C. R., t. CXXXVI, pp. 1707-1709.

1904 — Éphémérides sismiques et volcaniques : décembre 1902, janvier-février, mars, avril, mai, juin, et août 1903. — Ciel et Terre, Bruxelles, t. XXIV, pp. 155-161, 209-210, 263-267, 310-313, 363-365, 414-445, 463-464, 512-513 et 563-565.

1904 — Les relations sismico-géologiques de la Méditerranée Antillienne. — M. S. A. A., t. XIX, pp. 351-373.

1904 — Sur les tremblements de terre des Andes méridionales. — C. R., t. CXXXVIII, pp. 106-108. — Bull. Soc. belge géol., t. XVIII, proc.-verb., pp. 34-35.

1904 — Les Andes méridionales sismiques. — Bull. Soc. belge géol., t. XVIII, mém., pp. 79-105.

1904 — Sur les tremblements de terre de la Roumanie et de la Bessarabie. — C. R., t. CXXXVIII, pp. 830-832.

1904 — Sur les conditions générales de la sismicité des pays barbaresques. — C. R., t. CXXXVIII, pp. 1443-1445.

1904 — Les relations sismico-géologiques du massif barbaresque. — A. S. P. N., 4me pér., t. XVIII, pp. 135-159.

1904 — La sismicité, critérium de l'âge géologique d'une chaîne ou d'une région. — C. R., t. CXXXIX, pp. 318-319. — Ciel et Terre, Bruxelles, t. XXV, pp. 464-466.

1904 — Sur la coïncidence entre les géosynclinaux et les grands cercles de sismicité maxima. — C. R., t. CXXXIX, pp. 686-687.

1904 — Géosynclinaux et régions à tremblements de terre. Esquisse de géographie sismico-géologique. — Bull. Soc. belge géol., Bruxelles, t. XVIII (Mém.), pp. 243-267.

1904 — Les visées de la sismologie moderne. — R. Q. S., 3me sér., t. V, pp. 461-481.

1904 — Handbuch der Erdbebenkunde, par Aug. Sieberg. — Analyse. — R. Q. S. 3me sér., t. VI, pp. 629-633.

1904 — Loi générale de la répartition des régions sismiques à la surface du globe. — C. R., 2me Confér. séis. intern. Leipzig, 1904, pp. 325-334.

1904 — Segunda conferencia sismologica international. — An. Museo Nac. San Salvador, t. I, pp. 351-361.

1904 — The seismic Phenomena in British India, and their connection with its Geology. — Mem. Geol. Surv. India. Calcutta, vol. XXXV, part. 3, pp. 153-194.

1904 — Les relations sismico-géologiques de la Méditerranée antillienne. — M. S. A. A..

1905 — Éphémérides sismiques et volcaniques : septembre 1903. août 1904. — Ciel et Terre. Bruxelles. t. XXV, pp. 18-19, 67, 112-114, 162-164, 220-221, 319-320, 370-371, 420-422, 462-463, 522-523 et 569-570.

1905 — Le tremblement de terre du Pendjab, le 4 avril 1904. — Ann. Géogr. Paris, t. XIV, pp. 259-264.

1905 — La Roumanie et la Bessarabie sismiques. — Ann. Inst. met. Romaniei. Bucarest, t. XVII, B, p. 57.

1905 — Les relations des tremblements de terre avec la géologie et la tectonique du sol en France. — Bull. soc. Hist. natur. Autun. Autun, t. XVIII (Mém.) pp. 339-366.

1906 — Éphémérides sismiques et volcaniques : Septembre 1904 à août 1905. — Ciel et Terre. Bruxelles, t. XXVI, pp. 21-22, 95-96, 110-111, 164-165, 215-216, 269-270, 321-322, 372-370, 420-421, 470-471, 527-528 et 579-580.

1906 — L'art de bâtir dans les pays à tremblements de terre. — L'Architecture. Paris, t. XIX.

1906 — El arte de construir en los paises de terremotos. — An. Museo Nacional. San-Salvador, t. I. pp. 524-535, 585-604 ; t. II, pp. 681-687, 729-737, 808-817, 865-872 ; t. III, pp. 21-29.

1906 — Les récents désastres sismiques. — Ciel et Terre. Bruxelles, t. XXVII, pp. 107-115.

1906 — Les tremblements de terre. Géographie séismologique. Préface de M. A. de Lapparent. — Paris. 1906, vol. in-8° de 475 pp., 89 fig. et 3 cartes hors texte. — Libr. Armand Colin.

1906 — Les tremblements de terre et les systèmes de déformation tétraédrique de l'écorce terrestre. — Ann. Géogr. Paris, t. XV, pp. 1-8.

1906 — Relations géologiques des régions stables et instables du Nord-Ouest de l'Europe. *Seconde partie* : Centre et Nord de la France, Allemagne et Bohême. — A. S. S. B., t. XXX, 2me partie, pp. 1-66.

1906 — Sur les prétendues lois de répartition mensuelle des tremblements de terre. — C. R., t. CXLIII. pp. 146-147. — Bull. Soc. belge géol. Bruxelles, t. XX, pp. 183-192.

1907 — Ephémérides sismiques et volcaniques (septembre 1905-août 1906). — Ciel et Terre, t. XXVII, pp. 19-21, 77-79, 128-130, 179-180, 288-290, 333-340, 395-399, 448-450, 508-510, 547-549 et 612-614.

1907 — Efectos del terremoto del 18 abril 1906, sobre las Canerias de agua i les acequias de la ciudad de San-Francisco (California). — Santiago de Chile, 1 vol. in-8°.

1907 — La Science séismologique. Les tremblements de terre. Préface de Ed. Suess. — Paris. 1907, vol. in-8° de VII-

579 pp., 22 fig. et cartes dans le texte et hors texte. Libr. Armand Colin.

1907 — Los progresos de la sismolojia moderna. — Santiago de Chile.

1908 — Éphémérides sismiques et volcaniques (septembre 1906-février 1907). — Ciel et Terre, t. XXVIII, pp. 21-24, 68-69, 131-133, 176-179, 224-226 et 274-276.

1908 — Earthquakes. An introduction to seismic geology, by William H. Hobbs. Compte rendu. — R. Q. S., 3me sér., t. XIII, pp. 643-646.

1908 — Variations des latitudes et tremblements de terre. — C. R., t. CXLVII, pp. 655-656.

1908 — Sur les principes à appliquer pour rendre les constructions asismiques. — C. R., t. CXLVI, pp. 1228-1230.

1909 — Boletin del Servicio Sismolojico de Chili. I. Años de 1906-1907-1908. — Santiago de Chile, vol. in-8° de 200 pp.

1909 — La topographie sismique des Coast Ranges de Californie et le mouvement tectonique du 18 avril 1906. — Ann. Géogr. Paris, t. XVIII, pp. 341-355.

1909 — Sur une interprétation possible des ondes de la phase principale des sismogrammes. — C. R., t. CXLVIII, pp. 200-201.

1910 — Boletin del Servicio Sismolojico de Chile. II. Año de 1909. — Santiago de Chile, vol. in-8° de viii-305 pp. i 23 pl.

1910 — Organisation du Service sismologique du Chili. — C. R. Séanc. 3me Réunion comm. perm. Assoc. intern. Sismolog. réunies a zermate. — Budapest, annexe XVI, pp. 96-97.

1910 — Sur le barographe considéré comme sismoscope enregistreur. — C. R., t. CL, pp. 486-487.

1911 — La sismologie moderne. (Les tremblements de terre). — Paris, 1911, vol. in-18 de xx-284 pp. avec 64 fig. et cartes dont 16 pl. — Libr. Armand Colin.

1911 — Sur l'application de la suspension à la Cardan aux sismographes. — C. R., t. CLIII, pp. 743-744.

1911 — Sur la répartition de l'instabilité sismique en Bolivie. — C. R., t. CLIII, pp. 988-990.

1911 — Historia sismica de los Andes Meridionales (Primera parte). — Santiago de Chile, vol. in-8° de 345 pp.

1912 — Association internationale de sismologie. — Réunion de Manchester. — Cosmos, Paris, t. 61, p. 128. — Boll. Soc. sismolog. Ital. Modena, t. XVI, pp. 228-229.

1912 — Sur les phénomènes lumineux particuliers qui accompagnent les grands tremblements de terre. — C. R., t. CLIV, pp. 789-791.

1912 — Fenomeni luminosi speciali che avrebbero accompagnato il terremoto di Valparaiso del 16 di agosto 1906. — Boll. Soc. sismolog. Ital. Modena, t. XVI, pp. 77-102.

1912 — Historia sismica de los Andes Meridionales (Segunda parte). — Santiago de Chile, vol. in-8° de 345 pp. et de 236 pp.
1912 — Sur la non-existence des courbes isoséistes. — C. R., t. CLIV, pp. 1461-1463.
1912 — Sur l'influence sismogénique des mouvements épirogéniques. — C. R., t. CLIV, pp. 1747-1749.
1912 — Sur la constance probable de l'activité sismique mondiale. — C. R., t. CLIV, pp. 1843-1844.
1912 — Périodes de Brückner et tremblements de terre destructeurs. — C. R., t. CLV, pp. 379-380.
1912 — Tremblements de terre et taches solaires. — C. R., t. CLV, pp. 560-561.
1912 — Observations sismologiques faites à l'île de Pâques. — C. R., t. CLV, pp. 625-626.
1912 — Tremblements de terre d'origine épirogénique probable dans le Michigan et le Wisconsin. — C. R., t. CLV, pp. 1042-1043.
1912 — Sur les tremblements de terre des provinces baltiques de la Russie (Esthonie, Livonie et Courlande). — C. R., t. CLV, pp. 1200-1201.
1913 — Mégaséismes et phases de la Lune. — C. R., t. CLVI, pp. 100-102.
1913 — Mégaséismes et saisons. — C. R., t. CLVI, pp. 414-415.
1913 — Tremblements de terre destructeurs et précipitations atmosphériques. — C. R., t. CLVI, pp. 1194-1195.
1913 — Tremblement de terre supposé de chevauchement. — C. R., t. CLVII, pp. 389-390.
1913 — Sur un essai de synthèse des phénomènes sismiques et volcaniques. — C. R., t. CLVII, pp. 556-557.
1914 — L'œuvre sismologique de J. Milne. — R. Q. S., 3me sér., t. XXV, pp. 497-530.
1914 — Sur un tremblement de terre supposé de chevauchement (Galipoli, 9 août 1912). — C. R., t. CLVIII, pp. 89-91.
1914 — Sur la distribution mondiale de la sismicité. — C. R., t. CLVIII, pp. 440-441.
1914 — Sur les phénomènes lumineux ayant accompagné le tremblement de terre de la Rauhe Alb, le 16 novembre 1911, — C. R., t. CLVIII, pp. 749-751.
1914. — Sur l'origine épirogénique probable des tremblements de terre du détroit de Cook (Nouvelle Zélande). — C. R., t. CLVIII, pp. 1835-1837.
1915 — A problem on seismological geology : on the seismogenic influence of parallel shelf-faults. — Seismolog. Soc. Amer. Bull., Stanford Univ., t. V, pp. 150-154.
1915 — Apuntes de Hagiografia sismologica segon los Bolandistas. — Bol. Serv. sismolog. Chile, Santiago, p. 166, — Bol. Soc. Sismolog. Ital. Modena, Vol. XIX, p. 376.

1915 — Bibliografia general de Tremblores y Terremotos. — Santiago de Chile, 2 vol. in-8°. Impr. Universitaria.
1915 — Influence sismogénique des failles parallèles étagées de la rainure érythréenne et de celles de la vallée du Rhin. — C. R., t. CLX, pp. 346-347.
1916 — Bibliografia general de Temblores y Terremotos. Cuarta Parte : Asia, Africa y Oceania. — Publ. Soc. Chilena. Hist. Geogr. Santiago de Chile.
1916 — Bibliografia general de Temblores y Terremotos. Quinta Parte : America, Tierras Antarcticas y Oceanos. — Publ. Soc. Chilena Hist. Geogr. Santiago de Chile.
1916 — Du rôle comparé des diverses nationalités dans les progrès de la sismologie moderne. — Boll. Soc. Sismolog. Ital. Modena, vol. XX, pp. 263-272.
1916 — Historia sismica de los Andes meridionales al Sur del paralelo XVI. — Soc. Barcelona. Santiago-Valparaiso. sexta parte, 1 vol. in-8°.
1916 — Les bases de la théorie géologique des tremblements de terre. — Ann. Geogr., Paris, t. XXV, pp. 401-412.
1917 — Bibliografia general de Temblores y Terremotos. — Santiago de Chile. 7ª parte. 1ª entrega, 1ª, 2ª y 3ª partes. 1 vol. in-8°. Impr. Universitaria.
1918 — 1° La Sismologia de los Autores clasicos griegos y romanos. 2° Observaciones de 1914 y 1915. — Bull. Serv. Sismolog. Chile, t. XIII.
1918 — Terremoto del año 1582 en Arequipa y erupcion del volcan Omate en el año de 1600. — Rev. Chilena Hist. Geogr. Santiago, t. XXIV, 39 pp.
1919 — Bibliografia general de Temblores y Terremotos. — Santiago de Chile. 8 volumes.
1919 — Sur les origines de la théorie aristotélicienne des tremblements de terre. — Boll. Soc. Sismolog. Ital. Modena, vol. XXII, pp. 205-224.
1921 — Histoire de la Sismologie. — R. Q. S., 3me sér., t. XXIX, pp. 29-57, 320-350.
1921 — Sur la dépression longitudinale du Chili. — C.R., t. CLXXII, pp. 990-992.

(Sous presse). — La Géologie sismologique. — Paris, 1 vol. in-8°. Libr. Armand Colin.
(Sous presse). — Ethnographie sismique et volcanique. (Ouvrage couronné par l'Acad. des Sciences). Paris, Champion.

Le travail des mines à l'âge de la Pierre [1]

Il y a tout juste 1980 ans, en 57 avant notre ère, Jules César quittait son quartier-général de Besançon et montait avec ses huit légions, ses troupes légères et les escadrons éduens de Diviciac vers la Belgique.

La marche à travers le pays des bords de l'Oise, le Soissonnais et la région d'Amiens ne fut qu'une sorte de promenade estivale. Commencée à l'époque des premiers fourrages, elle se continuait par les mois ensoleillés, au moment des récoltes, lorsque le proconsul, poussant toujours vers le Nord, aborda la contrée marécageuse et forestière qui servait de territoire aux Nerviens.

A la lisière de notre Hainaut, aux gués de la Sambre, Boduognat et ses 80.000 hommes attendaient le Romain. Les femmes, les vieillards, les enfants avaient été concentrés dans une sorte de refuge naturel, au milieu des marais, peut-être Mons ou Thuin (2). César arriva, s'installa sur la rive gauche, ne se doutant pas que l'ennemi, tout proche, le guettait. La journée était déjà bien avancée. Brusquement les Nerviens débouchèrent de la

(1) Conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles, le mercredi 11 avril 1923.

(2) Des historiens l'ont placé au Nord du Rupel, d'autres dans la forêt de Soignes, à Ixelles, à Saventhem, à St-Josse-ten-Noode, etc... Nous suivons dans ce récit l'opinion de C. Jullian (*Histoire de la Gaule*, III, pp. 260 et suiv.) sans entrer dans le détail infini et fastidieux des controverses.

forêt, franchirent la Sambre profonde de trois pieds (1), remontèrent la pente au pas de charge et tombèrent sur l'ennemi. On avait à peine eu le temps de les voir venir (2). Ce fut un prodigieux tumulte. Une heure plus tard le camp des Romains était pris, leur chef lui-même presque cerné, Boduognat vainqueur. Les cavaliers Trévires lâchaient précipitamment leur allié d'un jour et galopaient déjà sur les routes de l'Est, annonçant partout la défaite de César.

Pendant qu'ils l'annonçaient, elle se transformait en victoire. Labienus, ayant culbuté les Atrébates dans le fleuve, faisait demi-tour et prenait les Nerviens à dos. Au soir couchant 60.000 Belges jonchaient les pentes de la Sambre. En quelques heures d'une après-midi d'été toute une époque de notre passé se terminait. Avec Rome, ses légionnaires, ses commerçants, ses écrivains, la Belgique entrait dans l'histoire, et là-bas, près du Palatin, le Sénat votait quinze jours d'actions de grâces pour célébrer cet exploit plus glorieux que la victoire de Pompée sur Mithridate.

Ni César, ni ses soldats, ni les Nerviens eux-mêmes ne se doutaient que le sol sur lequel ils se battaient, était déjà riche d'une immense tradition d'efforts humains. Ils ne le savaient pas. Aujourd'hui, parmi nous, beaucoup persistent à l'ignorer. La période historique, dans nos régions, couvre à peine deux mille ans. De toute la préhistoire antérieure, qui se chiffre en millénaires, nos manuels ne nous disent rien que des phrases indigentes (3). Un peuple assez sauvage, couché sur des peaux de chien, dans des villages de huttes rondes, faisant la guerre ou

(1) *De bello gallico*, lib. II, c. 18.

(2) *Ibid.* c. 19. Incredibili celeritate... paene uno tempore et ad silvas et in flumine et jam in manibus nostris.

(3) L'Histoire de Belgique de M. Pirenne ne commence malheureusement qu'avec l'époque romaine. Le petit volume de M. Vanderlinden : *Vue générale de l'Histoire de Belgique*, Payot, 1918, ne contient pas un mot sur la préhistoire.

traquant le sanglier, semant des céréa'es ou pêchant dans les fleuves, c'est sans doute le peuple des origines belges, et il sera resté le même jusqu'à César !

La réalité est plus complexe et moins immobile. Du paléolithique supérieur à l'époque de La Tène presque tout s'est transformé dans l'homme lui-même et dans son milieu, et ces transformations n'ont pas, semble-t-il, obéi à une loi simple et constante. La marche du progrès, dès qu'on peut l'observer avec assez de précision, se montre pleine de sinuosités et de caprices, et les problèmes de chronologie, de races, d'influences apparaissent de plus en plus bizarres et insolubles à mesure que du vieil âge de la pierre on descend vers notre époque. Le paléolithique accepte encore plus ou moins de se ranger dans les classifications linéa'res assez simples qu'on lui impose. Personne n'a encore songé à grouper les époques néolithiques dans un pareil schéma. On n'est d'accord ni sur la nature et l'extension du Tardenoisien, ni sur la date de l'Omalien, ni sur les variétés du Campignyen, ni sur l'existence même du Flénusien, etc.... Les sceptiques triomphent de ces incertitudes, mais les sceptiques ont tort. Une vraie science n'est pas celle qui contient beaucoup d'affirmations catégoriques, mais celle qui se garde des affirmations prématurées et conserve, comme des munitions d'avenir, beaucoup de points d'interrogation.

Donc, à une époque très reculée, l'homme, dans nos régions, n'avait pas encore observé que certaines roches se fondaient à la chaleur de la flamme et se durcissaient après la cuisson. Il ignorait l'art merveilleux du métallurgiste. Et pourtant il creusait dans le sol des puits et des galeries, comme nos mineurs d'aujourd'hui, il en extrayait le silex, matière première de la plupart de ses outils, il le taillait à grands ou à petits éclats, et il succombait parfois à la peine, écrasé par les éboulements du sol au fond de ces galeries souterraines.

Les documents abondent qui vont nous raconter cette histoire.

Vers 1840, Désiré Toilliez et son frère Albert consacraient leurs promenades, dans le Hainaut, à explorer la surface du sol, et ils ramassaient, aux environs de Mons, un bon nombre de pièces de silex. Quaregnon, Obourg, Nimy, Jemappes, Harmignies, Spiennes, Ghlin, Hyon, Ciply, Baudour.... dans toutes ces localités la récolte se montrait particulièrement fructueuse (1).

Les frères Toilliez moururent. En 1865, la collection qu'ils avaient réunie, et qui était d'une valeur unique, fut mise en vente. Ni le Cercle archéologique de Mons, ni le Musée de cette ville ne consentirent à débourser les mille francs nécessaires pour garder à la province du Hainaut les plus vieilles de ses archives. Tout fut acheté par John Evans qui emporta le trésor en Angleterre. Il y est encore et tout espoir de le revoir jamais chez nous est définitivement perdu.

Avant de mourir, Albert Toilliez avait signalé deux faits intéressants concernant le territoire de Spiennes, petit village à 4 kilomètres au Sud-Est de Mons, au milieu des prairies qui couvrent de leur gazon les alluvions de la Trouille. Toilliez avait remarqué la présence, sur une surface de plus de cinquante hectares, d'innombrables éclats de silex mêlés aux terres de labour. Le sol en était littéralement pétri. Il l'est encore et l'endroit est appelé par les gens du pays le Camp à Cayaux.

A cette constatation, Toilliez en avait joint une autre. Par endroits, au milieu de ce champ à silex, on découvrait des dénivellations assez brusques, des affaissements de terrain à périmètre nettement circonscrit. Avec une sagacité méritoire Toilliez réunit dans son esprit les deux phénomènes : affaissement du sol et présence de nombreux silex en surface, et il conjectura que des galeries avaient dû être creusées sous le sol pour l'extraction du silex et

(1) Cf. Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles, t. VI, p. 65. (1887-1888).

qu'imparfaitement remblayés, elles avaient, en s'effondrant, provoqué les mouvements du terrain.

Un an plus tard M. Malaise publiait un petit mémoire sur les silex ouvrés de Spiennes, dans lequel il confirmait les intuitions de Toilliez et concluait à l'existence de puits d'extraction de silex, remblayés après usage (1). Il ajoutait qu'à son avis cette exploitation était ancienne, très ancienne, antérieure non seulement à l'époque historique, non seulement à l'âge du métal, mais précédant même l'âge de la pierre polie, le néolithique, et contemporaine donc de la formation des dépôts géologiques quaternaires.

On allait être bientôt fixé. Quelques mois plus tard, en 1867, les travaux de la nouvelle ligne de chemin de fer entre Mons et Chimay amenaient les équipes de terrassiers sur le territoire de Spiennes, à 2 km. de la station d'Harmignies. Sur la rive gauche de la Trouille, un banc assez épais de terrain crétacé devait être sectionné par une tranchée. La pioche des ouvriers mit à jour 25 puits verticaux et des galeries horizontales.

Un mot de géologie est ici nécessaire. Nous l'emprunterons — à peine modifié — au mémoire de F. L. Cornet et A. Briart (2).

Dans le bassin de Mons on rencontre sous les dépôts de surface et parfois en affleurement d'importantes assises crétacées. En allant de haut en bas, on dénombre, dans le système, un étage Maestrichtien représenté par le tuffeau de S. Symphorien, puis un étage Ciplyen, bien déterminé depuis les admirables travaux de J. Cornet et dans lequel il faut ranger la craie brune, phosphatée, de Ciply et la craie blanche de Spiennes. Cette dernière se présente

(1) M. C. Malaise, *Sur les silex ouvrés de Spiennes*. Bruxelles, 1866.

(2) Sur l'âge de la pierre polie et les exploitations préhistoriques de silex dans la province de Hainaut. *Congrès internat. d'Anthropologie et d'Archéologie préhistor.*, 6me session. Bruxelles, 1872, pp. 285 et suiv. du compte rendu publié en 1873.

en bancs massifs, ayant parfois plus de 0,50 m. de puissance et peuplés de gros rognons de silex, disposés en lits continus. Le Sénonien qu'on traverse ensuite est couronné par la craie de Nouvelles, dans laquelle on découvre de petits rognons de silex noir. En dessous la craie d'Obourg, celle de Trivières, celle de St Vaast avec des silex bigarrés. Enfin, en dessous du Sénonien, la craie turonienne fait son apparition. C'est à ce niveau qu'on rencontre des bancs massifs de craie jaunâtre renfermant des blocs parfois volumineux de gros silex blond ou gris, de forme irrégulière et que les ouvriers appellent des *rabots*. Plus bas on rencontre encore des marnes et des argiles grises ou verdâtres, des poudingues avec galets de grès ou de phtanite. Ces niveaux turoniens ou cénomaniens ne nous intéressent plus. Revenons à la tranchée du chemin de fer. Examinons ce que nous découvre la pioche des terrassiers.

Les puits verticaux partent du sommet du plateau et traversent tous les dépôts quaternaires. Ils sont donc postérieurs à la formation de ces dépôts, c'est-à-dire qu'ils n'existaient pas encore à la période paléolithique. La conjecture de Malaise doit donc être écartée. Nos mineurs ne sont pas plus anciens que cette époque — très vague d'ailleurs — qu'on appelle l'âge de la pierre polie.

Les puits sont parfaitement cylindriques. Leur diamètre varie entre 0,60 et 0,80 m. Ils sont rangés en ligne, et placés très près les uns des autres. Aucun n'a plus de 12 mètres de profondeur, mais ce chiffre n'est pas nécessairement un maximum, car les travaux du chemin de fer n'ont pas atteint partout la base même des puits.

Des galeries rayonnantes et irrégulières partent du fond des puits. La hauteur de ces couloirs varie entre cinquante centimètres et deux mètres. Leur largeur atteint parfois deux mètres mais se tient ordinairement aux environs d'un mètre.

Le Congrès International d'anthropologie préhisto-

rique, tenu à Bruxelles en 1872, rendit célèbre la découverte des mines néolithiques de Spiennes. Toutefois aucune fouille d'ensemble ne fut entreprise. Les collectionneurs préféraient exploiter les gisements de surface. Petit à petit ceux-ci perdirent le plus grand nombre des pièces complètes qu'ils possédaient. On les retrouve aujourd'hui, par tas, dans les armoires vitrées de tous les musées d'Europe. Sur les champs de Spiennes il ne reste plus guère que des déchets de taille — innombrables d'ailleurs.

En 1887 le baron Alfred de Loë et Émile de Munck déblayèrent un puits de 8 mètres de profondeur (1). Deux ans plus tard M. de Pauw fouilla des ateliers de silex et crut, ainsi que M. Van Overloop, y découvrir deux époques bien distinctes (2).

En 1913, M. Louis Cavens ayant fourni les fonds, le Musée Royal du Cinquantenaire fit exécuter avec beaucoup de méthode des fouilles complètes dans deux puits très profonds, communiquant entre eux par des galeries. M. de Loë et M. Rahir en ont rendu compte (3). Un de ces puits est encore accessible au public. Il a 16 mètres de profondeur ; la section circulaire a 1 m. de diamètre ; les galeries qui rayonnent à la base sont bien horizontales. En haut, près de la surface, le puits s'élargit en une sorte d'entonnoir. Le second puits est un peu moins profond, un peu plus étroit, mais du même type, et foré tout proche du premier.

Il y a d'ailleurs moyen de déceler, aujourd'hui encore,

(1) Cf. Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles, t. VI, p. 239. Dans les déblais de ce puits on ne découvrit pas moins de douze cents pièces travaillées, mêlées à une quantité énorme d'éclats de silex et de gros blocs de craie.

(2) Cf. Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles, t. VIII, pp. 28 et suiv.

(3) Cf. Baron Alf. de Loë. *Les Fouilles de M. Louis Cavens à Spiennes en* 1912. Extrait du Bulletin des Musées royaux du Cinquantenaire, 1913. E. Rahir, *Mines néolithiques de Spiennes (Belgique)*. La Nature, n° 2122, 24 janvier 1914, pp. 132 et suiv.

la présence de certains de ces puits néolithiques, rien qu'en observant, en été, les prairies ou les moissons qui couvrent le Camp à Cayaux. Là où se trouve un puits les eaux pluviales s'infiltrent avec rapidité à travers toute la masse des silex remblayés, la couche de terre végétale demeure aride, et une tache plus ou moins jaune se dessine dans l'herbe du pré, une place stérile apparaît dans le champ de seigle.

Il nous faut maintenant examiner les faits analogues découverts en d'autres régions, puis la technique même de l'exploitation.

En 1870 le Canon Greenwell explorait près de Brandon, dans le Norfolk, l'endroit appelé Grimes Graves (1). Il y découvrait 254 puits percés à travers les assises crayeuses. Plusieurs avaient 13 mètres de profondeur ; tous d'une verticalité parfaite ou à peine inclinés. La publication des découvertes de Spiennes et de Grimes Graves fit réfléchir un archéologue anglais qui devait devenir célèbre, le colonel Lane Fox, connu plus tard sous le nom de Général Pitt Rivers (2). Il avait déjà fouillé dans le Sussex, entre Beachy Head et Seaford, en plein crétacique, un plateau riche en silex : Cissbury Camp. Il y avait remarqué des entonnoirs, affaissements de terrain plus ou moins circulaires, d'un mètre et demi à deux mètres de profondeur et tout remplis de déchets de taille. Pour expliquer ces entonnoirs on avait eu recours aux

(1) Cf. Journal of the Ethnological Society of London. New series, vol. III.

(2) Cet archéologue bien connu a été curieusement dédoublé par le Dr Th. Baudon, président de la Société préhistorique de France. Parlant des puits de silex de Cissbury, il nous dit qu'ils ont été fouillés par le colonel Lane Fox, *puis* par le général Pitt Rivers. (Cf. *Quatrième Congrès préhistorique de France*, Chambéry, 1908, p. 315). Ce dédoublement provient d'une traduction fautive de la phrase anglaise : the result of excavations made by Lt. Col. Lane Fox (afterwards General Pitt Rivers) in 1867. (*A guide to the antiquities of the stone age*. British Museum, 2e édition, 1911, p. 87.)

hypothèses les plus bizarres. Citernes ? mais l'eau, loin d'y demeurer, fuyait dès qu'on la versait. Abreuvoirs de bestiaux ? mais pourquoi avoir systématiquement rempli ces abreuvoirs d'éclats de silex dangereusement affilés ? Fonds de cabanes, restes d'anciennes habitations ? Lane Fox eut le mérite de ne pas s'arrêter à ces rêveries et de considérer que le problème attendait encore une solution. Lorsque les résultats des fouilles de Spiennes furent connus, il se dit que ces entonnoirs n'étaient peut-être que les orifices de puits profonds totalement remblayés et au lieu de conjecturer il saisit la pioche, l'*ultima ratio* des archéologues. Quelques heures de travail lui prouvèrent que les cheminées des puits s'enfonçaient dans le sol, et les ayant vidées il aboutit, tout au fond, à des galeries rayonnantes. L'analogie avec les mines de Spiennes était complète (1).

En France, tout au Nord de l'Aveyron, se trouve une petite localité qui topographiquement se rattache plutôt au Cantal : Mur-de-Barrez, entre Arpajon et Pierrefort. Vers 1883 on y exploitait une carrière ; on attaquait de front le versant d'un plateau, abattant les bancs de silex et de calcaire des terrains tongriens et aquitaniens. Sur le front d'abattage on vit bientôt apparaître les cheminées des puits, forés jadis à partir du plateau pour atteindre les assises de silex. Les premiers puits n'étaient pas très profonds : 4 mètres, sur un mètre de large ; mais à mesure que la carrière dévorait le versant du plateau, la distance augmentait entre la surface de ce dernier et les bancs de silex horizontaux. Les cheminées des puits s'allongeaient en conséquence. On en découvrit plus de dix que MM. Boule et Cartailhac observèrent scientifiquement (2).

(1) Cf. JOURNAL OF ANTHROPOL. INSTITUTE, t. V, 1875, pp. 357 et suiv. Excavations in Cissbury Camp. Sussex, by Col. A. Lane Fox. MM. Tyndall, de Brighton et Ernest Willett ont aussi fouillé Cissbury Camp.

(2) Cf. MATÉRIAUX POUR L'HISTOIRE PRIMITIVE ET NATURELLE

Mais la région de France qui a fourni les données les plus intéressantes, c'est sûrement l'Oise et les portions limitrophes de l'Eure et de la Somme.

On découvrit des puits d'extraction de silex à Nointel, près du Camp de Catenoy en 1884 (1); à Champigneulles près de Beauvais en 1891 (2), à Velennes en 1902 et avant cette date à Froncourt (3). En 1910, M. Arthur Cousset explore sept puits de 4 à 5 mètres de profondeur à Lamecourt près de Clermont dans l'Oise (4). En 1912, M. Léon Coutil en signale aux Bordeaux de Saint-Clair, à la frontière de l'Eure et de l'Oise (5). En 1913, M. Quenel en découvre à Margny (6).

Orsi a signalé des puits analogues en Sicile. On en a trouvé en Portugal. Dans une monographie très érudite, le baron Alfred de Loë a résumé l'état des recherches en Belgique, en France, en Portugal et en Amérique jusqu'en l'année 1890 (7).

Car la Belgique ne renferme pas seulement le gisement

DE L'HOMME. XVIIIe année, 3me série, t. 1, 1884, février, pp. 65 et suiv. Découverte de puits préhistoriques d'extraction du silex, par Marcellin Boule. — *Ibid.*, t. 4, 1887, janvier, p. 1 suiv. Nouvelles observations sur les puits préhistoriques d'extraction du silex de Mur-de-Barrez (Aveyron).

(1) Cf. *Puits préhistoriques de Nointel (Oise) découverts par M. l'Abbé Barret.* (Extrait des MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ ACADÉMIQUE DE L'OISE). Beauvais, 1884, 16 pages.

(2) Cf. L'ANTHROPOLOGIE, t. II, 1891, p. 445 et suiv. Gustave Fouju, *Les puits préhistoriques pour l'extraction du silex à Champignolles.* Pour l'ensemble des puits d'extraction cf. : Cartailhac, *La France préhistorique*, 1889, pp. 137 et suiv.

(3) Cf. Thiot et Stelin, *Les puits préhistoriques de Velennes.* (Extrait des MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ ACADÉMIQUE DE L'OISE).

(4) Cf. BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ PRÉHISTORIQUE DE FRANCE, t. VII, 1910, p. 287. Découverte de puits d'extraction de silex à Lamecourt, canton de Clermont (Oise), par Arthur Cousset (Etaules, Charente-Inférieure).

(5) Cf. *Ibid.*, t. IX, 1912, p. 96. Ces puits ne sont distants que d'une vingtaine de kilomètres de ceux de Champignolles.

(6) Cf., *ibid*, t. X, 1913, p. 679.

(7) *Les ateliers et les puits d'extraction de silex en Belgique, en France, en Portugal et en Amérique.* Paris, Leroux, 1892.

de Spiennes. La vallée de la Meuse a fourni deux stations très intéressantes : Avennes, dans la haute Méhaigne, et Ste Gertrude, tout contre la frontière hollandaise, au Nord de Visé.

Avennes possédait des puits d'extraction de silex forés à travers la terre végétale et le sable tongrien jusqu'à la craie. Ces puits furent mis à jour lors de la construction du chemin de fer de Landen à Ciney. Depuis lors, l'exploitation des marnières ou les terrassements industriels en ont révélé d'autres. M. de Loë, le comte Georges de Looz Corswarem, MM. Cumont et Poils ont exploré ou vidé complètement plusieurs de ces puits en 1885, 1888 et 1892. Ils sont moins profonds que ceux de Spiennes et se terminent par des galeries rayonnantes (1).

Ste Gertrude, déjà connu comme gisement de surface très riche, depuis les découvertes de Marcel De Puydt, a été fouillé très méthodiquement et avec une patience admirable par MM. Hamal Nandrin et Jean Servais, de Liége, avec le concours du professeur Ch. Fraipont. Ils y ont repéré un certain nombre de puits d'extraction de silex et en ont déblayé quatre, dont un de sept mètres de profondeur. Ces puits se terminent aussi par des galeries horizontales (2). Nous pouvons laisser de côté pour l'instant quelques autres découvertes isolées ; ce qui précède suffit sans doute à montrer que les mines de silex de Spiennes ne sont pas un phénomène unique. Dans les régions les plus distantes, suivant une technique assez

(1) Cf. Annales de la Société d'Archéologie de Bruxelles, t. VIII, 3e livre, 1894. Découverte et fouille de puits et de galeries préhistoriques d'extraction de silex, à Avennes, par le Baron Alfred de Loë.

(2) L'étude d'ensemble sur ces fouilles n'a pas encore paru. Cf. Revue Anthropologique (Bulletin de l'Association liégeoise pour l'étude et l'enseignement des Sciences anthropologiques). 1920, p. liii. Rapport sommaire. Cf. aussi : Revue Anthropologique, 1921, pp. 318 et suiv. et Bulletin de l'Institut archéologique liégeois, t. XL. Notice par Marcel de Puydt. Ateliers néolithiques de Sainte-Gertrude et de Ryckholt.

uniforme, les hommes de l'âge de la pierre ont essayé d'atteindre les beaux rognons de la matière précieuse, dans laquelle ils taillaient leurs outils et leurs armes.

Nous parlons des hommes de l'âge de la pierre. Est-il bien sûr que le travail de ces mines remonte si haut ?

Les puits passent à travers tous les dépôts quaternaires — nous l'avons déjà vu — il est évident que leur creusement est postérieur à la formation de ces dépôts, et voilà déjà un point de repère établi. La période glaciaire était entièrement terminée quand les mineurs se sont mis à l'ouvrage. Ceux-ci sont donc des néolithiques ; mais pourquoi ne pouvons-nous les rapprocher davantage de nous ?

On l'a essayé, sans succès.

Il faut remarquer d'abord qu'à Ste Gertrude, par exemple, le relief du terrain a été considérablement modifié depuis le creusement des puits. On les retrouve aujourd'hui tout contre les flancs d'un ravin profondément encaissé et ils sont parallèles à l'escarpement. Parfois même les cheminées cylindriques des puits, remblayées d'éclats de silex, apparaissent en affleurement sur la pente. Il est clair que le ravin n'existait pas au moment où, partant du plateau, on a creusé les puits. Personne n'aurait jamais songé à percer des trous de sept mètres de profondeur, tout contre la paroi du ravin formant rideau, alors que la couche du silex convoité pouvait être atteinte en dix minutes et sans effort par une attaque horizontale au flanc de la pente.

Cet argument n'est pourtant pas sans réplique. Dans les terrains meubles, comme le sable de Ste Gertrude, le travail d'érosion peut être extrêmement rapide, et les siècles qui nous séparent des Romains suffisent amplement au creusement d'un ravin sur un terrain à pente assez forte.

Ce qui est plus décisif est l'absence complète, sans aucune exception, de toute trace de métal dans les

milliers de mètres cubes extraits des puits par les fouilleurs. Il faut se souvenir qu'un seul coup donné par un outil de métal produit sur un morceau de silex une marque pratiquement indélébile, « une tache de rouille ». Les silex des déblais sont tous immaculés.

De plus l'examen des entailles, dont les traces sont visibles par centaines sur le plafond et les parois des galeries, montre à l'évidence que l'outil employé n'est pas métallique.

Cet outil, on l'a d ailleurs retrouvé. Les puits de silex ont livré en nombre considérable, à Spiennes, à Cissbury, à Mur-de-Barrez, dans l'Oise, à Ste Gertrude, à Avennes, des pioches en bois de cerf, dont les pointes sont brisées ou émoussées par l'usage. Ces bois de cerf portent encore la trace du sciage circulaire qui a permis de les détacher du merrain. Le Dr Baudon pensait que dans les galeries souvent surbaissées et où on ne peut se tenir qu'à genoux ou bien accroupi, le maniement d'une pioche en bois de cerf eût été impossible (1). Il estimait que nos mineurs ne s'en étaient servis que pour peser sur les rognons de silex déjà à demi dégagés. Mais il est sûr que le bois de cerf n'a pas seulement été employé comme levier, travaillant à la pression. Il a été utilisé comme pioche, travaillant par choc. Les observations de M. Boule à Mur-de-Barrez sont démonstratives, et Cartailhac a découvert, incrustée dans la paroi même de la galerie, la pointe d'une de ces pioches en bois de cerf, cassée par le coup qu'elle avait porté (2). Les bois de rebut ne sont d'ailleurs souvent qu'émoussés ou brisés à leur pointe extrême, ce qui n'aurait eu lieu que rarement s'ils avaient cédé à une pression trop forte au moment où ils soulevaient des blocs de silex encastrés dans la craie. La craie fraîche et

(1) Cf. *Quatrième Congrès préhistorique de France*, Chambéry, 1908, *loc. cit.*

(2) Cf. MATÉRIAUX..., *loc. cit.* Nouvelles observations, etc..., p. 14.

humide se laisse assez facilement entamer par cet instrument d'aspect plutôt grêle. Lane Fox a voulu faire lui-même l'expérience et il a calculé qu'en travaillant douze heures et en n'employant que le pic en bois de cerf il avait pu percer une galerie aussi étendue que la plus longue de celles qu'il avait découvertes (neuf mètres) (1).

Nos mineurs ne se sont pas contentés de ce mince outil. Ils ont employé le pic en silex. Avennes, par exception, n'a fourni aucun de ces instruments. Les rognons de silex ne sont d'ailleurs jamais fort volumineux dans le gisement d'Avennes et un bon pic doit avoir au moins onze à douze centimètres de longueur pour être efficacement manié. Spiennes a fourni des milliers de pics en silex à pointes mousses ou fraîches ; rien que dans les galeries déblayées en 1912 on en a trouvé plusieurs centaines : Cissbury Camp en a donné ; à Ste Gertrude ils abondent. Le pic en silex est un outil très efficace quand il s'agit d'attaquer la craie bien fraîche, mais comme tous les outils en silex, il ne garde pas longtemps ses arêtes vives. Le choc ou la simple pression écache la pointe et il ne semble pas que nos mineurs se soient souvent donné la peine de raviver leur outil. Ils abandonnaient le pic usé parmi les déchets et tout était rejeté dans les galeries avec les matériaux de remblayage.

On peut donc conclure avec une certitude suffisante que les mines de silex sont antérieures à l'âge du métal, comme on peut conclure que la lutte à l'arbalète et à la fronde est antérieure à la guerre au fusil.

Il existe d'ailleurs des mines néolithiques datant de l'âge du métal, celles de Hallstatt, par exemple, mais ce n'est pas du silex que ces fondeurs de bronze ou de fer allaient chercher à 300 mètres sous le sol, c'était du sel. Par comparaison on peut s'assurer que les instruments employés étaient tout différents. Dans les mines de

(1) *Op. cit.*, p. 378.

Hallstatt, on ne trouve pas un seul pic en silex ou en bois de cerf (1).

Aussi ne peut-on guère admettre, comme le voudraient quelques auteurs, une influence de la technique des mines de cuivre du Sud de l'Europe sur les travaux des néolithiques de Spiennes (2). Il est arbitraire de parler d'âge du métal lorsque parmi les milliards de pièces (le chiffre n'est pas trop fort) appartenant à une exploitation bien définie, il n'en existe pas une qui porte la moindre trace de métal.

Ces néolithiques, pouvons-nous les connaître de plus près ?

Jadis on s'est livré à des conjectures bien bizarres et d'une ampleur déconcertante. L'habitude de ces vaticinations n'est pas encore tout à fait perdue.

Les mineurs de Spiennes, disait-on, en 1872, abondamment pourvus d'outillage, « n'auront pas tardé à abuser de cette prépondérance en exterminant ou refoulant devant eux les populations mal armées qui les entouraient » (3). Édouard Dupont pensait qu'ils avaient dû envahir la province de Namur et chercher querelle aux Troglodytes qui l'habitaient (4). Aujourd'hui on nous assure que « ces néolithiques n'étaient guère que des sauvages agressifs et qu'ils n'ont reçu les premières notions de véritable civilisation que par les Omaliens, venus du lointain Orient » (5). Ceux-là seuls auraient donné l'exemple « des mœurs douces et pacifiques ».

(1) Cf. August Aigner, *Hallstatt. Ein Kulturbild aus prähistorischer Zeit.* Munich, 1911, pp. 202 et suiv.

(2) Cf. Joh. Bumüller, *Die Urzeit des Menschen.* Cologne, 1914, p. 235.

(3) Cf. *Congr. Internat. d'Anthrop. et d'Archéol.*, Bruxelles, 1872, p. 299.

(4) A la base de ces conjectures il y a d'ailleurs chez Éd. Dupont une erreur matérielle : l'attribution au paléolithique de la sépulture incontestablement néolithique du trou du Frontal. Cf. les remarques très fines et très sages de M. Van Overloop, dans Bull. Soc. Anthrop., t. VIII, 1889, p. 35.

(5) *Congrès international d'Histoire*, Bruxelles, 1923. Aperçu

C'est fort beau de leur part, mais tout de même, est-on impertinent parce qu'on demande au bout de cette épopée un petit argument ?

Pour expliquer la présence des grands ateliers de silex de Ste Gertrude, un excellent archéologue invoquait autrefois les Éburons d'Ambiorix. Traqués par les Romains, ils se seraient réfugiés dans les bois pour tailler en hâte de nouvelles armes. C'était leur usine de munitions qu'on venait de découvrir dans le parc du comte de Geloes, et le caractère fruste de beaucoup de ces éclats de débitage semblait un indice irrécusable de la nervosité des ouvriers (1).

Ces reconstitutions du passé peuvent plaire au public et alimenter des discussions, mais on est bien forcé de dire, sans vouloir froisser personne, qu'elles sont aussi brillantes et vides que des bulles.

Constatons ce qui est. Le scepticisme facile de ceux qui ne veulent rien admettre, pas même ce que tout le monde voit, n'est pas moins aveugle que la confiance téméraire de ceux que les pierres taillées hallucinent et qui lisent des batailles de peuples et des exterminations de tribus dans un modeste caillou.

Les faits, les voici.

Pour exécuter des travaux d'ensemble aussi importants que ceux de Spiennes, de Ste Gertrude ou de Grimes Graves, il faut une communauté sociale organisée et stable, une hiérarchie et une discipline, une tradition technique et même une certaine spécialisation industrielle. De plus, pour qu'une pareille quantité de matière première puisse être extraite et puisse être ouvrée, il faut qu'il y ait

synthétique sur les découvertes faites dans l'atelier néolithique de Spiennes (feuille volante).

(1) Casimir Ubaghs, *Les ateliers dits préhistoriques de Sainte-Gertrude et de Ryckholt*, Liége, 1887, et la réponse péremptoire de M. de Puydt, dans Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles, t. VI, pp. 264 et suiv.

d'abondants débouchés commerciaux. Il est trop clair que la production d'instruments par dizaines de milliers dépassait de beaucoup les besoins des habitants du Camp à Cayaux. D'ailleurs les pièces achevées, les instruments finis sont proportionnellement très rares. On ne trouve que des outils usés, des pièces de rebut, des marteaux ou des haches ou des tranchets brisés par accident en cours de fabrication. Le reste a été exporté. Chacun sait que les ateliers de Spiennes, comme ceux du Grand Pressigny, ont fourni des objets de silex aux populations les plus distantes.

Tout ceci nous montre, non pas des sauvages ignares, féroces et belliqueux, mais bien plutôt des tribus calmes et travailleuses, prospères et commerçantes. Et les pierres elles-mêmes en rendent témoignage. A Spiennes, dans les déblais des puits, à Ste Gertrude, dans l'Oise, en Angleterre, on ne découvre pas d'armes proprement dites, si ce n'est dans des proportions extrêmement faibles. Pas de pointes de flèche par exemple, alors qu'elles abondent dans toutes les stations du type de l'éperon barré ; pas de levées de terre destinées à servir de rempart, quelques boules de jet, dont la destination n'est d'ailleurs pas claire, et qui devaient peut-être lapider éventuellement des agresseurs.... Nous avons trouvé nous-même à Spiennes, en dessous de la couche végétale, une magnifique pointe de javelot en silex, de 17 centimètres de long, avec une soie d'environ quatre centimètres, mais ces trouvailles d'armes proprement dites sont très rares, et même pour les pointes de flèche ou les javelots découverts dans les niveaux supérieurs rien ne permet de les synchroniser avec les remblais des galeries.

Spiennes se présente donc, non comme une fabrique d'armes de guerre, mais comme un atelier pacifique, tout comme Cissbury Camp, Avennes ou Mur-de-Barrez. C'est ce que le baron de Loë avait déjà noté avec beaucoup

d'exactitude et ce que Déchelette avait lui-même conclu (1).

Que la possession des richesses souterraines ait été convoitée dès l'époque des mineurs néolithiques, c'est très vraisemblable ; mais rien ne nous permet de dire que cette convoitise ait provoqué des conflits. Il ne suffit pas de prétendre que les néolithiques sont des sauvages pour conclure qu'ils ont été belliqueux et amis du meurtre. L'ethnographie elle-même proteste contre ces simplifications outrancières.

Les populations néolithiques qui ont creusé les puits de silex y ont laissé quelques-uns de leurs ouvriers. Nous savons à quoi nous en tenir sur leur anatomie. Leurs squelettes ont été retrouvés. Ils sont de type moderne, avec le front haut, la mâchoire sans prognathisme, la dent de sagesse en régression comme chez nous, et la symphyse mentonnière bien dessinée.

En 1891, Émile De Munck découvrit à Obourg, dans une galerie d'extraction de silex, le squelette d'un mineur écrasé. A côté de lui, sa pioche en bois de cerf. Surpris par l'éboulement de la voûte, pendant qu'il rampait dans le bouveau étroit, il y était mort, victime, la plus ancienne connue chez nous, de ces accidents du travail souterrain qui n'ont pas cessé de frapper nos ouvriers, dans ces mêmes régions du Hainaut. Ce mineur d'Obourg est aujourd'hui dans une cage de verre au Musée d'histoire naturelle à Bruxelles.

On lui a depuis adjoint un mineur écrasé, venant de Strépy, mais le compte rendu de la découverte ne semble pas donner la preuve bien solide qu'on ne soit pas tout simplement en présence d'une inhumation très régulière, et même d'une inhumation double : un adulte et un enfant (2).

(1) Cf. *Les fouilles de M. Louis Cavens à Spiennes*, *op. cit.*, p. 15, et Déchelette, *Manuel d'Archéol. préhistor.*, t. I, pp. 308 et suiv.

(2) Cf. Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles. t. XXIV, 1905,

Un autre néolithique d'Obourg fut, en juin 1913, considéré lui aussi comme un mineur écrasé. Il faut, à son sujet, faire des réserves au moins aussi sérieuses qu'au sujet de son prédécesseur de Strépy (1).

Enfin tout dernièrement les écrasés ont encore reçu quelque renfort. Deux squelettes découverts sur la rive gauche de la Trouille, près du pont de chemin de fer et à proximité du Camp à Cayaux, ont été considérés comme les ancêtres des perceurs de puits, essayant d'atteindre les silex par des abattages à flanc de coteau et victimes d'un éboulement de la falaise. Il ne nous appartient pas de discuter ici leur origine. Le baron de Loë fera là-dessus la lumière dès qu'il le jugera bon. En attendant, il est prudent de ne pas confondre sans plus ces Flénusiens avec les néolithiques de Spiennes.

Il est d'ailleurs remarquable que presque partout, dans les puits remblayés, on ait trouvé des restes humains. Et pour plusieurs d'entre eux, il est impossible de songer à un accident de travail.

Pendant que le colonel Lane Fox fouillait une galerie de puits à Cissbury Camp, il s'aperçut que les déchets, au lieu de continuer suivant une ligne horizontale, remontaient verticalement. Il conjectura qu'il avait atteint la base d'une cheminée de puits et se mit en demeure, assez imprudemment, de l'attaquer de bas en haut, au risque de faire tomber toute la masse. Soudain, une mâchoire humaine se détacha du bloc de débris. A côté de la mâchoire, un crâne. Lane Fox vida méthodiquement tout le puits et y découvrit, morceau par morceau et dans leur position anatomique, les parties d'un squelette de femme, les pieds en l'air et la tête tordue sur le côté par le choc du crâne contre l'assise du fond. Il ne semble pas

p. CCXCII. A. Rutot, *Découverte d'un nouveau squelette de mineur préhistorique à Strépy*.

(1) BULLETIN SOC. BELGE DE GÉOLOGIE, t. XXVII (1913). Procès-verbaux, pp. 131-136.

qu'une chute accidentelle soit admissible, surtout tête en avant, le puits n'ayant pas même un mètre de largeur. Il est sûr que cette femme se trouvait dans le puits avant que le remblayage définitif ne fût terminé ; il est sûr aussi que ce remblayage n'a pas tardé, puisque les os des membres inférieurs n'étaient pas réunis en tas avec les autres pièces du squelette au fond du puits. Celui-ci a donc été comblé au moment où le cadavre n'était pas encore entièrement décharné. Crime, suicide, accident ? Quelque paradoxale que soit l'affirmation, nous inclinerions plutôt à croire à une sépulture sans cérémonies. Car le fait n'est pas isolé et en Angleterre tout au moins on relève un mode d'inhumation assez semblable jusqu'à la fin de l'époque romaine. En surface, à Spiennes, on a découvert des sépultures, qui sont peut-être contemporaines de l'époque des puits, mais le synchronisme n'est pas facile à établir.

Un mot encore sur la technique des exploitations. L'idée d'un puits à creuser à tel endroit pour atteindre des couches de silex suppose qu'on connaisse l'existence dans le sous-sol de ces bancs de silex, et qu'on désire s'en assurer l'usage.

Comment les néolithiques ont-ils deviné la présence des assises crétaciques à beaux rognons ? A Spiennes la réponse est simple. La craie se montre en affleurements sur le versant de la vallée de la Trouille et elle est toute peuplée de silex. Les premières galeries ont donc été sans doute percées horizontalement. Il en existe encore des traces nombreuses. Ce n'est que plus tard qu'on aura ouvert des puits verticaux.

Toutefois, à Flénu par exemple, l'assise des rabots est recouverte d'un épais manteau de terrains quaternaires d'une puissance moyenne de dix mètres. Rien n'indique la présence de la craie, et pourtant les néolithiques ont creusé d'aplomb des puits d'extraction à travers tout le terrain de recouvrement. Les travaux du chemin de fer

de Mons à Dour et de Frameries à St Ghislain ont mis sept de ces puits à découvert. Comment les anciens mineurs de l'âge de la pierre ont-ils résolu ce problème de géologie et quels étaient leurs procédés de divination ou de sondage ? Mystère. Nous verrons qu'il reste bien d'autres points obscurs dans leur technique.

Pourquoi se donner tant de mal et creuser si profondément puits et galeries alors que les rognons de silex, à Spiennes par exemple, abondent dès la surface ? Quand on descend dans un de ces puits, on s'aperçoit qu'il traverse des bancs très épais de silex crétacé de fort belle apparence. Les néolithiques ont dédaigné ces couches, ils ont poursuivi le forage jusqu'à 16 mètres de profondeur pour atteindre les silex qui leur paraissaient les meilleurs, ceux qui se prêtaient le plus facilement au débitage et qui contenaient le moins de nodules. Ils les ont choisis avec beaucoup de discernement. De plus, chacun sait que les blocs de silex ne se taillent bien que lorsqu'ils sont frais, c'est-à-dire récemment extraits et gardant encore leur eau de carrière. On peut prouver que les mineurs néolithiques traitaient fort rapidement la matière première et ne laissaient pas aux rognons le temps de se dessécher à fond. En effet, le silex se patine assez vite dès qu'il est exposé à l'air. En un an la teinte d'un silex de Spiennes se trouve déjà notablement altérée, si on ne le tient pas à l'abri. Or les déchets de remplissage des puits et des galeries n'offrent aucune trace de patine appréciable. Ils sont frais comme au jour de l'extraction et ne diffèrent pas des autres silex encore *in situ* (1). On peut donc conclure que le remblayage s'est effectué dans l'année même du forage. De plus, dans les déchets on trouve souvent des blocs de craie, rejetés pêle-mêle avec les éclats de la taille et des ossements, débris de cuisine, etc... La craie est une roche

(1) Cf. Bull. Soc. Anthrop. Bruxelles, t. VI, pp. 239 et suiv.

très gélive et qui ne supporte pas les basses températures. Les blocs de craie découverts dans les déchets n'ont pas souffert. Les traces mêmes des coups de pic s'y remarquent facilement et sont toutes fraîches. Il semble difficile d'admettre que ces blocs aient passé en surface un hiver froid ou pluvieux.

Le silex méritait bien toute la peine qu'on prenait pour l'extraire et l'ouvrer. Il était à cette époque la seule matière première de l'industrie et presque la seule richesse, l'équivalent de la houille, du minerai et de l'or. Spiennes, qui aujourd'hui n'a ni une ligne de tram ni une ligne de train, a dû jadis, à une époque qu'on ne peut préciser, jouer le rôle d'un centre de civilisation incomparable.

Comment les mineurs descendaient-ils dans ces puits verticaux de 10 à 16 mètres ? M. Rahir serait disposé à admettre une sorte d'échelle tournante : les barreaux étant fixés de part et d'autre dans des creux artificiels aux parois des puits (1). Nous ne pensons pas que cette conjecture très ingénieuse et qui se réclame de quelques observations faites sur place réponde aux nécessités de l'exploitation néolithique. Les barreaux placés par raison de stabilité suivant les diamètres auraient fort gêné le transport des matériaux et le passage même des mineurs. De plus, les encoches dans un terrain souvent assez friable auraient dû être très profondes et elles auraient laissé des traces indiscutables et régulières. Nous avouons n'avoir rien constaté de pareil dans les puits que nous avons pu explorer.

Alors ? Peut-être la meilleure hypothèse est-elle celle des transports par cordages. Les néolithiques étaient de fort bons tisserands, ils avaient donc l'usage des fibres résistantes. A Champigneulles, on a cru reconnaître sur la craie des parois des galeries, des filaments, qui pro-

(1) Cf. Rahir, *Op. cit.*, La Nature, pp. 135.

viendraient d'anciens cordages. Ailleurs, au tournant des galeries ou à leur naissance on a constaté que la craie des parois était striée, sillonnée comme par le passage d'une corde. On a même comparé ces rainures à des gorges de poulie.

Les silex étaient sans doute réunis dans des couffes de clayonnage et hissés vers la surface. Fox Lane a recueilli une grande omoplate de bœuf qui aurait pu servir de pelle. Mais à l'usage cette omoplate se montre très incommode. Le rebord de la cavité glénoïde gêne considérablement l'effort de la main et devient une vraie cause de souffrance dès que l'exercice se prolonge.

Des puits de 16 mètres se continuant par des galeries horizontales de 10 à 12 mètres ne sont pas très lumineux. Pour nos yeux de civilisés déshabitués de travailler dans les ténèbres, la nuit dans ces galeries est complète dès qu'on s'avance un peu. La galerie est d'ailleurs si étroite que le corps du mineur devait presque l'obturer. Comment pouvait-il, dans cette obscurité, continuer utilement son travail ?

On a beaucoup parlé des lampes néolithiques, et même des lampes paléolithiques, depuis que Lane Fox annonça qu'il en avait trouvé une à Cissbury Camp et que le Dr Émile Rivière présenta son galet à cupule de la Mouthe.

La lampe de Cissbury n'est peut-être pas incontestable. Les autres — nous laissons de côté les paléolithiques — ne sont guère plus rassurantes. Des lampes de craie, dans lesquelles on ne découvre aucune trace de combustion et aucun vestige de matières grasses quelconques, ces lampes sont au moins suspectes. La craie d'ailleurs se prête facilement aux formes un peu bizarres et il n'est pas rare d'y rencontrer des vacuoles donnant l'illusion d'un travail artificiel.

Dans les mines de Hallstatt, qui sont de l'âge du fer et qui ont continué à être exploitées, on s'éclairait avec des copeaux de bois, brûlés un à un, en longueur.

Il se fait précisément qu'à Mur-de-Barrez on a découvert sur le sol des galeries une mince couche de charbon de bois. Nous ne voulons pas conclure avec certitude, mais la coïncidence mérite peut-être qu'on la signale.

On ne peut pas d'ailleurs songer à un éclairage par des torches proprement dites, puisque ni à Mur-de-Barrez ni ailleurs les *parois* ne portent la moindre trace de fumée ou de flamme. Et on sait que les traces de fumée sur les parois d'une grotte sont étonnamment persistantes.

Cette question de l'éclairage ne doit pas trop nous inquiéter. Les exemples abondent qui nous montrent combien les primitifs, et même les civilisés qui travaillent habituellement dans l'obscurité, s'accoutument à y voir clair. Si on devait jouer aujourd'hui une pièce de théâtre avec l'éclairage du XVIIe siècle, nous dirions tous, de la meilleure foi du monde, que nous n'avons pas vu les jeux de physionomie d'un seul des acteurs et qu'il n'y avait pas moyen de les voir. Il est sûr pourtant qu'au XVIIe siècle cet éclairage semblait éblouissant. A une époque où l'homme, dans nos régions, passait près de la moitié de sa vie dans l'obscurité, sans s'arrêter de chasser ou de travailler sous prétexte que le soleil ne luisait plus, les ténèbres d'une galerie de mine ne devaient pas lui paraître fort anormale et il avait sans doute incomparablement plus de facilité que nous pour s'y guider.

Un mot encore avant de finir. Quelle est la place de ces mineurs dans l'ensemble de la chronologie néolithique ?

Au risque de décourager les amateurs de solution rapide, nous croyons qu'il faut répondre par un point de suspension. A Spiennes, les haches polies ne se trouvent jamais dans les déblais des puits, mais seulement en surface dans la terre arable. Il semblerait donc que l'industrie des mines soit antérieure au Robenhausien proprement dit. Les types d'instruments les plus fréquents sont le pic campignyen, le tranchet, la hache taillée que l'on

appelle, on ne sait pourquoi, ébauche de hache. Les percuteurs et les *nuclei* ne sont pas des produits vraiment industriels, puisque le percuteurs ert à la confection même de l'outil de silex et que le *nucleus* n'est qu'un suprême déchet de taille un peu compact.

On est convenu d'appeler cette industrie, campignyenne. Ceux qui voudront se documenter sur ce niveau archéologique liront avec profit la savante monographie de MM. Hamal Nandrin et Jean Servais.

Campignyen est un terme commode. Dans sa simplicité il n'est peut-être que provisoire. Comme certains organismes, il se rajeunira sans doute par scissiparité, et l'industrie des puits d'extraction de silex, si nette, si bien individualisée, recevra un nom à elle.

Un nom ne résout pas un problème, mais faute d'un vocabulaire précis, faute d'un nom, bien des problèmes restent sans solution.

Le mystère des mineurs néolithiques s'ajoute à tous ceux de la préhistoire ; mais, en précisant ce que nous ignorons, nous préparons peut-être modestement ce que nos successeurs pourront connaître.

Et nous montrerons au moins qu'il nous faut des fouilleurs. Une découverte sur le terrain fait plus progresser les questions d'archéologie que des heures de discussion théorique. Pour savoir ce qu'était l'homme de jadis, c'est lui-même qu'il convient surtout d'interroger.

PIERRE CHARLES, S. J.

La querelle des zodiaques

« *Les extrémités de notre perquisition tombent toutes en éblouissement, comme dit Plutarque de la tête des histoires... Voilà pourquoi les plus grossières et puériles rêvasseries se trouvent plus en ceux qui traitent les choses plus hautes et plus avant, s'abîmant en leur curiosité et présomption.* » MONTAIGNE, II, 12.

Dans cette querelle, mémorable par les passions qu'elle souleva, on peut distinguer trois phases d'inégale durée. La première embrasse les vingt premières années du dix-neuvième siècle : elle n'est qu'un conflit de préjugés. Que l'on soit pour ou contre l'extrême antiquité des zodiaques, il manque à la discussion une base scientifique. C'est assez dire la variété des hypothèses, la divergence des conclusions et la stérilité du débat. La deuxième phase, après une recrudescence, se résume dans deux noms : Letronne et Champollion. L'un étudie les éléments archéologiques des zodiaques et fixe leur âge (1) ; l'autre achève de dissiper les doutes en épelant sur les temples d'Esneh et de Denderah les cartouches des empereurs romains. La troisième phase est employée à mieux déterminer l'origine et la nature des zodiaques (2).

(1) *Recherches pour servir à l'histoire de l'Égypte pendant la domination des Grecs et des Romains*, in-8°. Paris, 1823. On trouvera l'histoire de cet ouvrage et des travaux antérieurs du même auteur, qu'il reprend ou résume, dans l'*Introduction* au *Recueil des inscriptions grecques et latines de l'Égypte*, 2 vol. in-4°. Paris, 1842.

(2) Letronne, *Sur l'origine grecque des zodiaques prétendus égyptiens*, discours lu à la séance publique de l'Académie, le 30 juillet

I

A l'aide de pures hypothèses et de hardies combinaisons, mêlant la fable et l'histoire, les époques et les événements, Dupuis (1) avait affirmé que le zodiaque (2) était d'invention égyptienne, qu'il exprimait soit des phénomènes célestes soit des circonstances de l'année agricole, et qu'il remontait à treize ou quinze mille ans avant notre ère. Or, « comme ce n'est pas au berceau de sa civilisation qu'un peuple s'avise d'une institution pareille, il fallait admettre une antiquité encore plus grande pour l'origine de la civilisation égyptienne » (3).

Nombre de savants firent crédit à l'auteur du *Mémoire sur l'origine des constellations et sur l'explication de la fable par le moyen de l'astronomie* (1781) et de l'*Origine de tous les cultes* (1793-1794), séduits qu'ils furent par ses brillantes rêveries scientifiques, séduits aussi, trop sou-

1824, recueilli dans *Mélanges d'érudition et de critique*. in-8°. Paris, Ducrocq, que nous citerons dans la suite sous la rubrique : *Origine des zodiaques ; Observations critiques et archéologiques sur les représentations zodiacales*. Paris, 1824. Ces deux ouvrages ont besoin d'être complétés et parfois corrigés par des travaux plus récents.

(1) Dupuis (Charles-François), conventionnel, né à Trie-Château (Oise), en 1742, mort à Is-sur-Tille en 1809. D'abord professeur et avocat, il se donna bientôt à l'étude des mathématiques et de l'antiquité. Il y porta un esprit étendu et pénétrant, mais confus et sans critique, préoccupé avant tout de trouver des arguments contre le christianisme. *L'Origine de tous les cultes*, quatre volumes in-4° et douze volumes in-8°, fut abrégée en un volume, à l'usage du grand public (1798). Dupuis donna encore : *Mémoire explicatif du Zodiaque* (1806).

(2) « Le zodiaque est la zone de la sphère céleste où paraissent se mouvoir les planètes connues des anciens et qui s'étend à 6 degrés — en réalité plus de 7 — de chaque côté de l'écliptique, route du soleil. Cette bande oblique, c'est-à-dire inclinée sur l'équateur, est divisée en douze parties égales ou dodécatémories, qui répondent approximativement chacune à une constellation, et c'est à ces douze signes (ζῴδια) que doit son nom le zodiaque. » F. Cumont, art. *Zodiacus* dans *Dict. des ant. gr. et lat.* par Daremberg et Saglio.

(3) Letronne, *Origine des Zodiaques*, p. 9.

vent, par ce qu'elles semblaient promettre. Moïse et la Bible n'étaient-ils pas mis en échec ? Pour plus d'un, sans doute, il n'en fallait pas davantage. On jura donc sur la parole du maître : « J'ai jeté l'ancre de la vérité au milieu de l'océan des temps ».

Peu d'années après s'ouvrait la campagne d'Égypte (1798). Quelques savants de l'expédition pénétrèrent dans le Saïd à la suite du général Desaix. Grande fut leur surprise de trouver dans le temple de Denderah deux représentations zodiacales (1), l'une, peinte au plafond du pronaos, l'autre, gravée au ciel d'une chambre supérieure, que Desaix fut le premier à voir et à signaler. On en découvrit deux autres à Esneh (2), l'une, dans le grand temple, l'autre, dans un petit temple situé à quelques kilomètres au nord de la ville.

Ces quatre monuments contenaient également les douze constellations zodiacales, d'après l'ordre du zodiaque moderne. Dans les deux zodiaques d'Esneh et dans celui du portique de Denderah, les douze constellations sont placées sur une ligne qui est pliée en deux droites parallèles. Tout autre est la ligne au deuxième zodiaque de Denderah : elle tourne en arc de spirale et forme un véritable planisphère, inscrit dans un carré, et soutenu alternativement par des personnages debout et agenouillés. Le plafond de la salle, entièrement couvert de sculptures, est divisé en deux portions égales par une grande figure en relief saillant et presque de ronde bosse. Les bras allongés au-dessus de sa tête, cette figure occupe toute la largeur de la voûte. Sur chacun de ses côtés descend

(1) Une représentation astronomique a le caractère zodiacal, quand elle offre la succession de plusieurs signes du zodiaque, disposés dans un ordre régulier ; ou bien encore, quand elle contient seulement une de ces figures qui n'appartiennent qu'au zodiaque, comme le Capricorne et le Sagittaire.

(2) Esneh et Denderah sont à peu près à égale distance, 58 kilomètres environ, de Karnak (Thèbes), la première au Sud, l'autre au Nord.

une bande d'hiéroglyphes, qui se termine par un cartouche vide. A sa gauche est une scène astronomique ou astrologique ; à sa droite, le planisphère, dont elle dépend.

Ajoutons, détail à retenir, qu'au portique de Denderah, les trente-six décans (1), montés dans des barques, accompagnent les signes du zodiaque; que, sur le planisphère, on a la liste entière de ces mêmes décans, les cinq figures des planètes et plusieurs autres constellations importantes de la sphère égyptienne.

A son retour de la Haute-Égypte (août 1799), Denon, qui avait dessiné les zodiaques, en montra les croquis à ses collègues de l'Institut. Sans hésitation, on prit ces tableaux célestes pour des thèmes purement astronomiques. Ne les avait-on pas rencontrés sur des édifices réputés alors très antiques, dans le pays même où Dupuis avait placé l'invention du zodiaque ? Bien mieux, il y avait dans l'ordre des signes une disparité caractéristique : à Esneh, le premier signe était la Vierge ; à Denderah, le Lion. Preuve évidente, disait-on, que les anciens Égyptiens avaient connu la précession des équinoxes (2) et marqué l'époque où les temples furent construits : les uns, quand le solstice était dans le signe de la Vierge ; l'autre, quand le solstice était dans le signe du Lion.

A ce compte, les temples d'Esneh remontaient à sept mille ans, celui de Denderah à quatre mille ans avant notre

(1) Les décans sont des constellations que, chaque année, à époques fixes, les Égyptiens voyaient s'abaisser derrière l'horizon, l'une à la suite de l'autre, disparaître, remonter après une éclipse plus ou moins longue, et regagner insensiblement leur place primitive. L'astrologie s'empara plus tard des décans et leur fit jouer un rôle important dans l'établissement des horoscopes. Nous y reviendrons plus loin.

(2) « S'il est un fait historiquement avéré, c'est que la précession des équinoxes a été fortuitement découverte par Hipparque vers 130 avant Jésus-Christ, et résulte de la comparaison qu'il a faite entre ses observations et celles d'Aristylle et de Timocharis. Le témoignage de Ptolémée (*Almag.*, VII, 12) ne laisse à cet égard aucun doute. » Letronne, *Origine des zodiaques*, p. 20.

époque (1) ! Esneh et Denderah nous livraient deux très vieux feuillets de l'histoire du ciel !

La bonne nouvelle ne se contint pas en Égypte. Elle passa en France avec le retour de Bonaparte (9 octobre 1799). Ripault, bibliothécaire du premier Consul, écrivait (22 juillet 1800) à ses camarades encore en Égypte, que son maître paraissait « extrêmement satisfait » sur le travail de la Commission au sujet des zodiaques. Et le *Moniteur* (18 août 1800 et jours suivants) donnait la consécration officielle à l'idée que les « zodiaques portaient dans l'ordre de leurs signes une date de cinq à six mille ans, et que les temples qui recélaient ces tableaux étaient les plus modernes parmi ceux de l'Égypte » (2).

Ce fut le signal d'une controverse qui allait durer vingt ans. Elle mettait en émoi le monde savant et le monde religieux, la France et l'Europe. Car, d'un côté, il s'agissait le plus souvent, et à tout prix, de vieillir le monde, avec l'espoir de donner un démenti aux Livres Saints, ou, suivant l'expression de Burckhardt (3), de reculer « les limites que les préjugés avaient fixées à l'âge du globe terrestre ». De l'autre, il fallait défendre ce qu'on appelait alors en termes imprécis les fondements de la croyance commune de toutes les sociétés chrétiennes, les titres primitifs de la Révélation, la chronologie sacrée. Entendons par là la chronologie du texte hébreu de la Bible, qui, sous l'influence du protestant Joseph Scaliger, avait prévalu depuis le XVIe siècle.

Jamais controverse ne fut plus mal engagée. On disserta

(1) Cf. deux lettres significatives, l'une de Corabœuf (12 août 1800), l'autre de Burckhardt (septembre de la même année), dans Grobert, *Description des pyramides de Ghizé*, Paris, 1800, pp. 111-120.

(2) Cf. Champollion-Figeac, *Fourier et Napoléon*, in-8°, Paris, 1844, pp. 50-51.

(3) Burckhardt (Jean-Charles), né à Leipzig en 1773, mort en 1825, vint à Paris en 1797, où il fut nommé astronome adjoint au Bureau des Longitudes, puis astronome à l'Observatoire de l'École militaire.

à perte de vue. Un flux de mémoires et de livres, savants, confus, maintes fois misérables et dépourvus d'urbanité, inonda la librairie, et ce débordement d'un genre nouveau s'appela la *zodiacomanie*. Elle envahit jusqu'à la *Description de l'Égypte* (1). Non pas que là ne fût la vraie place d'une étude sur les zodiaques, mais d'une étude sans parti pris et fondée sur des bases vérifiées. Ce qui n'était pas. Car les auteurs de la *Description* travaillaient sous l'empire de l'opinion, regardée alors comme certaine, que la domination persane avait porté un coup mortel aux institutions civiles et religieuses de l'Égypte : l'art, la religion, la langue même qui les exprimait, avaient péri par la rude étreinte de l'étranger. En conséquence, on attribuait aux temps antérieurs à Cambyse tous les monuments qui, comme celui de Denderah, s'annonçaient égyptiens par leur architecture, leur décor et leurs inscriptions hiéroglyphiques. D'autant mieux que plusieurs de ces édifices contenaient des zodiaques où, sous le charme de Dupuis, l'on voulait reconnaître les indices certains d'une haute antiquité.

Somme toute, on posait en fait ce qui précisément devait être en question, et dont on aurait dû étudier au préalable les éléments archéologiques. On ne se demanda même pas si les zodiaques étaient astronomiques ou astrologiques. On s'arrêta sans examen à la première alternative. Et là encore on ne parvint pas à s'entendre sur la fixation des points solsticiaux ni sur le sens des différents emblèmes. Autant dire qu'on disputait en l'air.

Diverses donc furent les explications des zodiaques, plus diverses encore les conclusions, les mêmes présup-

(1) Cf. Remi Raige, *Mémoire sur le zodiaque nominal et primitif des anciens Égyptiens*, t. XI, de la deuxième édition, pp. 391 sq. ; Jomard, *Essai d'explication d'un tableau astronomique*, t. VIII, pp. 1 sq.; Jollois et Devilliers, *Recherches sur les bas-reliefs astronomiques égyptiens*, ib., pp. 357 seq.; Fourier, *Recherches sur les sciences et le gouvernement de l'Égypte*, t. IX, pp. 1 sq., surtout les paragr. I et XXVII.

posés ne donnant pas toujours les mêmes résultats. Si Remi Raige et Jomard prêtaient la main à Burckhardt et, par lui, au Dupuis des quinze mille ans, Fourier se contentait de vingt-cinq siècles, Jollois et Devilliers abordaient vers les mêmes parages que Fourier.

Simultanément, dans le camp opposé, nous voyons l'abbé Testa (1), secrétaire de la Chancellerie romaine, ramener la date des zodiaques d'Égypte au troisième siècle avant notre ère, tandis que Visconti (2) la fixait avec hésitation au début de l'empire romain, et l'athée Lalande (3) se rangeait à son avis.

On pourrait s'étonner que les défenseurs de la « bonne cause » soient partis en lutte du même pied que leurs adversaires. Écoutons l'abbé Greppo, vicaire général de Belley (4), et pesons ses mots : « Ces savants combattirent sur le terrain où s'étaient placés leurs adversaires, c'est-à-dire que, selon l'opinion généralement adoptée, ils regardèrent les zodiaques comme des monuments astronomiques. Mais si, par cette raison, ils manquèrent le vrai point de vue de la question *que les connaissances de l'époque ne permettaient peut-être pas d'atteindre*, du moins ils répondirent, par des calculs tout aussi concluants, à ceux qu'on leur objectait, et réduisirent de beaucoup l'antiquité exagérée qu'on avait prêtée à ces monuments. »

Succès relatif, si l'on veut, mais de mince valeur, puisqu'ils ne se tiraient pas du pays des incertitudes et

(1) *Dissertation sur les deux zodiaques nouvellement découverts en Égypte*, Rome, 1802. Cette dissertation, traduite en français par le Dr Gauthier de Claubry (Charles-Emmanuel-Simon), fut publiée à Paris en 1807.

(2) *Notice sur les zodiaques de Denderah*, dans l'*Hérodote* de Larcher, seconde édit., 1802, t. II, p. 567. — Visconti (Ennio-Quirino) né à Rome en 1751, mort à Paris en 1818. Réfugié en France en 1799, conservateur des Antiques au Louvre, professeur d'archéologie, membre de l'Institut (1803), on lui doit un grand recueil d'*Iconographie ancienne*.

(3) *Bibliographie astronomique*, 1803, p. 178.

(4) *Essai sur le système hiéroglyphique*, 1829, p. 257.

de la confusion. Une autre cause encore viciait leurs efforts et s'opposait à toute décision victorieuse : ils étaient les prisonniers irréfléchis du préjugé qui voulait alors que la chronologie du texte hébreu de la Bible fût quelque chose de sacré, relevant de Moïse et de l'inspiration divine. En vain l'évêque Le Coz leur donnait l'exemple du dégagement et du redressement. On ne l'entendit pas (1). Le Coz disait, en effet, dès 1802, dans sa *Lettre à M. de l'Isle de Salles* : « La question de l'âge du monde n'est que de curiosité ; aucun de nos systèmes de chronologie ne tient à la foi. Selon le texte hébreu, depuis la création du monde jusqu'à nous, il ne s'est écoulé qu'environ six mille ans. Cette durée du monde est augmentée d'environ mille huit cent soixante ans, suivant M. Bergier, par la version des Septante. Le calcul des Samaritains diffère encore de celui des Hébreux et de celui des Septante. L'Église n'a jamais condamné ni l'un ni l'autre de ces deux systèmes, dont chacun est appuyé de raisons qu'il est libre aux savants de discuter.... Que le monde ait deux mille ans d'existence de plus ou deux mille ans de moins, cela ne change rien au fond de l'histoire sainte, ni à la tradition des dogmes révélés, ni à la certitude des preuves de la Révélation. »

Nous pouvons négliger les autres écrits des premières années du dix-neuvième siècle sur les zodiaques. Aussi bien avons-nous l'essentiel, et l'on n'en finirait plus. Qu'il nous suffise de redire après Letronne (2) : « Tous les

(1) Il est vrai de dire que l'auteur de la *Lettre* était à ce moment un assermenté opiniâtre et, comme tel, tenu en suspicion. — Le Coz (Claude), né en 1740, prêtre, professeur, puis principal du collège de Quimper, donna avec ardeur dans les idées schismatiques de la Révolution. Cela lui valut en 1791 l'évêché d'Ille-et-Vilaine et une place à la Législative. La Terreur l'incarcéra. Au Concordat, il se démit de son évêché et fut nommé archevêque de Besançon où il porta son zèle apostolique et sa pureté de mœurs irréprochables, mais aussi ses principes de constitutionnel. En 1804, à Paris, il se soumit sincèrement à Pie VII, et mourut en 1815, après un *Mandement pour le retour de Bonaparte*.

(2) *Origine des zodiaques*, pp. 11-13.

savants qui prirent part à cette mémorable dispute, tant les défenseurs de la haute antiquité de ces monuments que les partisans d'une antiquité plus restreinte, trouvèrent, dans la combinaison des emblèmes qu'on y avait représentés, le moyen de prouver, avec un succès à peu près égal, la justesse de leurs opinions diverses. L'absence totale de points fixes et déterminés, sur lesquels tout le monde pût s'entendre, excluait la possibilité d'une discussion méthodique et régulière. Chacun allait devant soi, composant son hypothèse, ou combattant celle des autres, sans trop s'inquiéter des objections auxquelles la sienne était soumise à son tour... Après tant d'efforts infructueux il était facile de prévoir qu'on n'arriverait jamais à un résultat certain, en continuant de combiner des emblèmes dont rien ne pouvait déterminer le sens, et qui laissaient le champ libre à toutes les hypothèses. »

C'était la faillite générale. Letronne vient de nous le dire en termes académiques. Suivit une accalmie, chacun restant sur ses positions et se bornant à de rares escarmouches, car l'Église était appelée au secours de la société civile, et l'attitude du nouveau maître de la France imposait des réserves à l'incrédulité.

II

Mais sous la Restauration, autour de 1820, sévit une violente poussée antireligieuse. En même temps que les œuvres de Voltaire et de Rousseau, on réimprime les *Ruines* de Volney et l'abrégé de l'*Origine de tous les cultes* ; il s'en tire, rien qu'à Paris, quinze à vingt mille exemplaires tous les ans, double bréviaire d'incroyance, distillée in-18 à l'usage du lecteur français. Comme il est naturel, la question des zodiaques eut son rebondissement dans l'absurde.

Sur ces entrefaites, au commencement de janvier 1822,

dans une voiture construite exprès pour lui à Marseille, le zodiaque circulaire de Denderah faisait son entrée à Paris. Crédité par M. Saulnier, fils d'un député à la Chambre, M. Lelorrain avait pu détacher le planisphère de son plafond et l'amener parmi nous, comme en triomphe (1).

Son arrivée excita la plus vive curiosité. Depuis le temps qu'on en parlait ! Les intéressés satisfirent la curiosité avec poids et mesure, par une habile réclame. Le nouveau venu était chatouilleux. Il n'admettait volontiers en sa présence que les savants qui lui avaient donné des gages, que les personnages influents qui pouvaient soutenir sa vieille gloire, et l'exalter auprès du gouvernement, dans les académies et dans la presse. Il se dérobait par d'honorables prétextes, à ceux qui avaient cherché à le diminuer, suspects qu'ils étaient du mauvais œil, si redouté en Égypte (2) !

La note gaie ne fit pas défaut. Cet objet, qui se montrait et se cachait tout à la fois, devint l'idole des salons. Il n'était bruit que de lui sur les promenades. « Ma chère, avez-vous vu le zodiaque ? Que pensez-vous, Monsieur, du zodiaque ? » Un jour on put se dire qu'une Commission avait été nommée pour l'examiner, que son sort était entre les mains de MM. Fourier, Cuvier et Walcknaër. « Oh ! si on allait le condamner ! » On ne le condamna pas. Ses détenteurs écrivirent aussitôt au ministre de l'Intérieur, M. de Corbière, qu'ils ne pouvaient plus demeurer dans l'incertitude des desseins du gouvernement.

« Cette incertitude, disaient-ils, ne nous a pas cependant empêchés de refuser, à Marseille, ainsi que M. le préfet des Bouches-du-Rhône a dû l'écrire à votre prédécesseur, l'offre qu'une maison étrangère nous avait faite de donner

(1) *Notice sur le voyage de M. Lelorrain en Égypte et observations sur le zodiaque circulaire de Denderah*, par M. Saulnier fils, Paris, 1822.

(2) Ainsi en advint-il au chevalier de Paravey qui ne put se glisser jusqu'au planisphère tant que M. Saulnier en demeura le maître.

deux cent mille francs du zodiaque : offre qui présentait alors des avantages très réels, puisque nous n'avions pas encore supporté la dépense et, par conséquent, couru les chances du transport de ce monument depuis Marseille jusqu'à Paris. »

Ils ne seraient pas regardants pour conserver à la France le planisphère. En bons spéculateurs, ils allaient jusqu'à indiquer le moyen de les rémunérer sans trop grever le Trésor. Louis XVIII donna enfin l'ordre d'acquérir le zodiaque. On le payait cent cinquante mille francs, c'est-à-dire cinq fois sa valeur (1). Il fut aussitôt exposé au Louvre (2) et la foule se vit admise à le contempler. L'empressement ne fut qu'un feu de paille.

Les discussions entre savants eurent plus de consistance ; elles se poursuivirent avec âpreté sur le terrain astronomique. En vain Champollion fit entendre de judicieuses remarques (3). Un mois avant la lecture des hiéroglyphes, il écrivait au sujet des *Observations* contenues dans le *Voyage* de M. Lelorrain : « Il ne suffit pas de posséder à fond la savante théorie de l'astronomie moderne, il faut encore une connaissance exacte de cette science, telle que les Égyptiens eux-mêmes l'avaient conçue, avec toutes ses erreurs et dans toute sa simplicité. S'il ne se pénètre point de cette idée que l'astronomie égyptienne était essentiellement mêlée avec la religion, et même avec cette fausse science qui prétend lire dans

(1) Cet achat eut un contre-coup fâcheux. Il rendit M. de Corbière timoré dans l'acquisition des antiquités égyptiennes. C'est ainsi que peu après il ne se décida pas à donner quatre cent mille francs pour la première collection Drovetti, offerte à la France, et qui valait des millions. Le musée de Turin en bénéficia.

(2) Il y resta exposé un an, puis on le relégua peu glorieusement à la *Bibliothèque du Roi*, aujourd'hui *Bibliothèque nationale*, où il est encore. On n'apprendra pas sans plaisir que, grâce à un moulage, le zodiaque vient de reprendre sa place à son antique plafond restauré.

(3) *Lettre au Rédacteur de la Revue encyclopédique*, n° d'août 1822.

l'état présent du ciel l'état futur du monde et des individus, le courageux explorateur du monument de Denderah se trouve sur un terrain dangereux, il s'expose à prendre un objet de culte pour un signe astronomique, et à considérer une représentation purement symbolique comme l'image d'un objet réel. »

On n'entendit point ce rappel au bon sens. On acheva de compromettre le zodiaque lui-même. Plaignons le temps et la science dépensés par les Biot, les Saint-Martin (1), et tant d'autres, sur des prémisses qui menaient à tout et, par conséquent, à rien ; qui même, tombant avec l'abbé Halma (2), après Visconti, sur le point juste, ne nous donnaient qu'une incertitude de plus. « Ce qu'on peut expliquer de vingt manières différentes ne mérite d'être expliqué d'aucune » (3). Plaignons aussi ceux qui maudissaient « la vilaine pierre noire », apportée en France ; ceux qui tonnaient à la Chambre des députés contre « ce monument d'athéisme et d'irréligion », cet épouvantail, dont personne, cependant, n'avait encore pu dire avec certitude la nature et l'âge.

Déjà l'abbé Testa (4) et Visconti (5) avaient noté que, au moyen de leurs inscriptions grecques, on arriverait peut-être à dater les temples d'Esneh et de Denderah et, par le fait même, les zodiaques qui y sont contenus. C'est ce que tenta Letronne dès 1817. Aux calculs astronomiques il substitua l'élément philologique et archéologique. « Il me parut, dit-il (6), que, pour trouver un fondement solide

(1) Biot, *Recherches sur plusieurs points de l'Astronomie égyptienne*, in-8°, Paris, 1823 ; J. Saint-Martin, *Notice sur le zodiaque de Denderah*, in-8°, Paris, 1822.

(2) Halma (Nicolas), mathématicien et érudit, né à Sedan en 1755, mort à Paris en 1828, traduisit les œuvres de Ptolémée, publia en 1822 un *Examen et explication du zodiaque de Denderah*, suivi d'un *Supplément*.

(3) Voltaire.

(4) Appendice I de sa *Dissertation*.

(5) Dans l'*Hérodote* de Larcher, 1802, t. II, pp. 570, 573.

(6) *Recherches*, Introduction, p. XVIII.

à des recherches sur l'histoire des temples de l'Égypte, il fallait transporter la discussion sur un autre terrain, et tâcher de découvrir des faits d'un ordre tout différent. » Les observations d'architectes, tels que Huyot et Gau (1), les inscriptions copiées par ces mêmes savants, par des membres de la Commission d'Égypte, et par d'autres voyageurs, lui révélèrent, à l'analyse rigoureuse et de tous les détails, que Grecs et Romains s'étaient faits Égyptiens en Égypte, y conservant les usages religieux et les arts propres aux pharaons de race, y bâtissant des temples où le mauvais style de la décoration trahissait une époque tardive (2).

Or, parmi ces temples, se trouvait le petit temple d'Esneh, contenant l'un des deux zodiaques qu'on prenait pour les plus anciens, et ce temple, ainsi que l'attestaient ses sculptures et une inscription grecque décisive, ne remontait pas beaucoup au delà d'Antonin et d'Adrien (3). Il

(1) Cf. Letronne, *loc. cit.*, pp. XXV-XXX, deux notes significatives de Huyot et Gau. — Huyot (Jean-Nicolas), né et mort à Paris (1780-1840), professeur à l'École des Beaux-Arts, Champollion lui dut de voir clair dans ses études de l'art égyptien ; — Gau (François-Chrétien), né à Cologne en 1790, mort à Paris en 1835, visita l'Égypte, publia à son retour les *Antiquités de la Nubie* (1824), se fit naturaliser français l'année suivante, fut directeur de l'École d'Architecture (1824-1848). On lui doit la restauration de Saint-Julien-le-Pauvre, le presbytère de Saint-Séverin, l'église de Sainte-Clotilde, exécutée d'après ses plans, au moins dans les grandes lignes (1846-1867).

(2) C'était le renversement de l'idée qui est le pivot de toutes les recherches d'antiquités dans la *Description de l'Égypte*. Naturellement on se récria. Jomard, le grand manitou de la *Description*, parla de paradoxes et d'abus d'érudition ! Cfr. *Recherches nouvelles sur les monuments de l'art ancien en Égypte*, lues à l'Académie des Inscriptions, le 7 décembre 1821, par Jomard ; *Parallèle des monuments égyptiens, avec des remarques sur le système des représentations appliquées à l'astronomie*, lu le 1er février 1822, par le même.

(3) *Recherches*, pp. 447 sq. Les bas-reliefs sont de la dixième année d'Antonin ou de l'an 147. Il est curieux de noter que la seule vue de l'architecture de ce temple avait donné à Jollois et à Devilliers l'impression d'un édifice d'extrême décadence, mais la présence du zodiaque coupa court à ce bon sentiment archéologique.

se trouve aussi celui de Denderah, décoré de deux zodiaques, dont le pronaos « peut-être commencé sous la domination grecque, ne fut achevé que sous le règne d'Auguste et de Tibère » (1), comme il est évident par sa dédicace : « En l'honneur de Tibère César, tout-puissant, nouvel Auguste, fils du dieu Auguste, Aulus Avilius Flaccus étant préfet, Aulus Fulvius Crispus étant épistratège, Sarapion Trykhambos étant stratège, les habitants de la métropole et du nome ont élevé ce pronaos à Aphrodite, déesse très grande, et aux dieux parèdres. La XXIe année de Tibère César, le 21 Athyr. »

Tout à coup, il vint à Letronne un appui aussi imprévu qu'éclatant : Champollion le jeune avait enfin retrouvé la clef des hiéroglyphes, 14 septembre 1822. Il lisait les noms des Ptolémées et des Césars copiés sur les monuments égyptiens, en particulier les cartouches de Tibère, de Claude et de Néron, relevés à Denderah même. Il irait bientôt visiter l'habitacle des fameux zodiaques (1828-1829). Et de l'édifice de Denderah il écrira que la décoration en est tout entière gréco-romaine, que les bas-reliefs en sont détestables (2). La partie la plus ancienne est la muraille extérieure du fond, où sont figurés, de proportions colossales, Cléopâtre et Césarion. Le haut de cette même muraille est d'Auguste, ainsi que les faces extérieures du naos, à l'exception de quelques petites portions dues à Néron. Le pronaos, celui du zodiaque rectangulaire, est en entier couvert des légendes impériales de Tibère, de Caius, de Claude et de Néron. Par contre,

(1) Cf. Letronne, *Inscriptions grecques et latines d'Egypte*, t. I, pp. 87 sq.

(2) Champollion distingue avec raison entre l'architecture et la décoration. La première, étant un art *chiffré*, est moins sujette à varier et se soutient mieux d'un âge à l'autre. Mais la seconde marche avec le temps, se dégrade et se contrefait. A Denderah, si l'architecture demeure encore « digne des dieux de l'Égypte et de l'admiration de tous les siècles », la décoration est l'image de la vieillesse de l'art et d'une décadence avancée.

dans l'intérieur du naos, ainsi que dans la chapelle et les chambres construites sur la terrasse du temple, par conséquent dans la salle du planisphère, il n'existe pas un seul cartouche sculpté, tous sont vides et rien n'a été effacé même dans ceux qui terminent les deux colonnes perpendiculaires d'hiéroglyphes dont s'encadre la grande figure zodiacale. Mais qu'on ne se hâte pas « de triompher, ajoute Champollion, parce que le cartouche du zodiaque est vide et ne porte aucun nom, car toutes les sculptures de cet appartement, comme celles de tout l'intérieur du temple, sont atroces, du plus mauvais style, et ne peuvent remonter plus haut que les temps de Trajan et d'Antonin » (1).

Il insiste, car on avait cru d'abord pouvoir dater sans réplique le planisphère par le mot *autocrator* qui se lisait écrit hiéroglyphiquement sur le dessin de la Commission d'Égypte (2), dans l'un des deux cartouches du zodiaque. Champollion lui-même y avait été pris tout le premier (3). Des doutes survinrent. Le croquis de Denon ignorait, en effet, ce détail et l'auteur, cependant bien attentif, ne se souvenait que de cartouches vides. Quand Lelorrain détacha le zodiaque, il n'y comprit pas la grande figure, qui resta en place avec ses deux lignes d'hiéroglyphes. On ne put donc à Paris tirer l'affaire au clair. Mais en Égypte, à deux reprises (17 nov. 1828 et 5 sept. 1829), *des yeux et de la main*, Champollion constata que les cartouches n'avaient jamais été que vides. Les cartouches ne signaient donc rien que ce que signait la décoration, bien suffisante d'ailleurs à dater le monument. Le mot *autocrator* était donc un faux matériel commis par Jomard ou un autre qui, croyant à un oubli, avait ajouté

(1) *Lettres et journaux* recueillis et annotés par H. Hartleben, t. II, pp. 154, 405.
(2) *Antiquités*, seconde édition, t. IV, pl. 21.
(3) *Lettre à Dacier*, 1822, p. 25.

ce mot après coup, alors qu'à Paris on travaillait à la *Description*.

Le piquant de l'affaire, c'est que, dans son ignorance absolue des hiéroglyphes, l'auteur de l'addition employait un titre qui eût été à lui seul, s'il se fût trouvé là, la réfutation péremptoire de sa théorie sur l'antiquité fabuleuse du zodiaque. « Cela s'appelle, concluait Champollion, porter les verges pour se faire fouetter » (1).

Nous savons déjà à quoi nous en tenir avec le petit temple d'Esnch. Il avait disparu quand Champollion voulut le visiter. Mais en Italie (août 1826) Sir W. Gell lui en avait montré un dessin et des inscriptions copiées par Wilkinson et Cooper, qui lui prouvèrent que l'édifice portait les légendes de l'empereur Commode (2).

Quant au pronaos du grand temple, « ce monument, écrit Champollion, a été regardé, d'après de simples conjectures établies sur une façon particulière d'interpréter le zodiaque du plafond, comme le plus *ancien* monument de l'Égypte. L'étude que j'en ai faite m'a pleinement convaincu que c'est au contraire le plus *moderne* de ceux qui existent encore en Égypte : car les bas-reliefs qui le décorent, et les hiéroglyphes surtout, sont d'un style tellement grossier et tourmenté qu'on y aperçoit, au premier coup d'œil, le point extrême de la décadence de l'art. Les inscriptions hiéroglyphiques ne confirment que trop cet aperçu. Les masses de ce pronaos ont été élevées sous l'empereur *Cesar-Tiberius-Claudius-Germanicus* (l'empereur Claude), dont la frise du pronaos porte la dédicace en grands hiéroglyphes. La corniche de la façade et le premier rang de colonnes ont été sculptés sous les empereurs *Vespasien* et *Titus*. La partie postérieure du pronaos porte les légendes des empereurs *Antonin*, *Marc-Aurèle* et *Commode*. Quelques colonnes

(1) Cf. Champollion-Figeac, *Fourier et Napoléon*, pp. 63-65 et fig.
(2) *Lettres et journaux*, t. I, p. 377.

de l'intérieur du pronaos furent décorées de sculptures sous *Trajan*, *Adrien* et *Antonin*, mais, à l'exception de quelques bas-reliefs de l'époque de *Domitien*, tous ceux des parois de droite et de gauche du pronaos portent les images et les légendes de *Septime-Sévère* et de son fils Antonin *Caracalla* » (1). On y lit aussi les noms de *Geta*, de *Philippe*, de *Dèce*, le dernier à figurer dans un cartouche hiéroglyphique.

« Ainsi donc, l'antiquité du pronaos d'Esneh est incontestablement fixée : sa construction ne remonte pas au delà de l'empereur *Claude* et ses sculptures descendent jusques à *Caracalla* (et *Dèce*), et du nombre de celles-ci est le fameux zodiaque dont on a tant parlé » (2).

Que devenaient les milliers d'années que, sur la foi des zodiaques, au mépris du témoignage de l'architecture, de la décoration et des inscriptions grecques, on avait attribuées à ces temples ?

Letronne ne s'était donc pas trop avancé, quand il disait (3) : « Il demeure démontré que tous les zodiaques connus sont postérieurs au règne de Tibère, et ont été exécutés dans l'espace de moins d'un siècle, entre les années 57 et 150 de notre ère » (4).

Il poursuivait : « N'est-il pas remarquable qu'on n'ait trouvé de ces représentations dans *aucun* des temples de l'Égypte et de la Nubie, dont l'époque remonte avant la domination romaine, dans *aucune* des tombes royales qu'on a pu ouvrir, puisque presque toutes contiennent des scènes astronomiques, enfin dans *aucune* des momies que nous connaissons ? Cette *absence* de toute représentation zodiacale sur les monuments *purement égyptiens*

(1) *Loc. cit.*, t. II, pp. 154-155.
(2) *Loc cit...*
(3) *Origine des zodiaques*, pp. 17-18.
(4) Un propylon d'Akhmim posséda aussi un zodiaque de la douzième année de Trajan. En 1908, Petrie trouva des figurations de même genre et de même époque. *Athribis*, pl. XXXVI-XXXVIII.

semble attester clairement que ces représentations n'étaient ni dans les usages religieux ni dans les habitudes nationales de l'ancienne Égypte. » Quelle est donc leur origine et de quoi sont-elles l'écho (1) ?

III

Inconnu dans l'ancienne Égypte, le zodiaque est originaire de Babylonie. Très anciennement, « il servit de base aux observations des astronomes, qui notèrent en se servant des douze cases la position des planètes, et aux prédictions des astrologues, qui regardèrent les astérismes et les sept planètes comme les foyers principaux des influences qui agissaient sur la terre » (2). Il fut transmis aux Égyptiens et aux Grecs par les « Chaldéens », c'est-à-dire par les astronomes et les astrologues de l'époque perse. Sous les Ptolémées, avec la diffusion de l'astrologie, il se naturalise en Égypte. Il y reçoit un perfectionnement original par l'adjonction des décans empruntés à l'antique sphère pharaonique (3). On l'habille à l'égyp-

(1) Pour la question de l'origine et de la nature des zodiaques, on trouvera le développement des preuves dans Letronne, *Recherches*, pp. 450 sq. ; *Origine des zodiaques*, pp. 18 sq. ; *Observations critiques et archéologiques sur les représentations zodiacales*, 1824 ; en le complétant et le corrigeant par Boll (Franz), *Sphœra, Neue griechische Texte und Untersuchungen zur Geschichte der Sternbilder*, Leipzig, Teubner, 1903, et par Cumont (Franz), art. *Zodiacus*, dans *Dict. des ant. gr. et lat.* de Daremberg et Saglio, 1817, avec toutes références utiles.

(2) Cumont, *loc. cit.* Horace n'ignorait pas cette origine : *Nec babylonios tentaris numeros*, « ne sonde pas les calculs de la science babylonienne », disait-il à Leuconoé, od. I, 11.

(3) De temps immémorial l'année fixe des Égyptiens, divisée en douze mois de trente jours, complétée par les cinq épagomènes, se subdivisait en trente-six décades. Restaient en excédant les cinq jours complémentaires, qui formaient une trente-septième décade tous les deux ans. Chacune de ces décades était précédée par un astérisme dont le lever héliaque signalait le commencement de cette période de dix jours. De là autant de décans, dont les noms sont les

tienne, son ascendant est tel sur les prêtres que ceux-ci se livrent avec ardeur à son étude, et en arrivent à prétendre l'avoir inventé (1). Les livres hermétiques en exposent la théorie, apprennent à connaître les douze signes, leur nature et leur pouvoir. Ce pouvoir, considéré jusque là dans ses effets naturels et météorologiques, on allait l'appliquer aux nativités. On naîtra sous un des signes du zodiaque qui, par sa vertu propre, par ses accords ou ses oppositions avec d'autres astres, présagera à l'avance et réglera le cours de la vie humaine. Toute naissance dépendra donc des circonstances astronomiques qui l'accompagnent. On en *jugera* par elles. Il n'est que de les bien établir. De là l'astrologie judiciaire qui « acquit un singulier développement vers le premier siècle de notre ère, alors que les progrès de l'astronomie et des mathématiques, chez les Alexandrins, lui eurent permis de s'entourer d'un appareil scientifique propre à déguiser sa futilité réelle. La manie des horoscopes devint donc générale ; elle atteignit les petits comme les grands, les peuples comme les magistrats et les empereurs ; on dressa partout des thèmes généthliaques, non seulement de personnages, mais encore de villes, de temples et de divinités » (2). N'était-on pas à une époque de scepticisme, de vertige de l'esprit et de dissolution sociale (3) ?

mêmes au plafond du Ramesseum, dans divers tombeaux thébains, que ceux que nous lisons sur les zodiaques de Denderah et dans les écrits astrologiques postérieurs. Ainsi Sothis (Sirius) annonçait l'inondation ; chaque autre décan gouvernait une autre portion de saison naturelle et agricole. On leur attribuait la protection des travaux champêtres. Témoin ce vœu au Ramesseum : « Que les astres t'apparaissent au commencement de chaque décade pour faire prospérer ton année ». Telle fut la sphère des Égyptiens jusqu'aux Grecs. L'influence perse la fit dévier. On en pervertit la signification en la rendant nettement superstitieuse et astrologique. Cf. E. de Rongé, *Œuvres diverses*, t. IV, p. 250.

(1) Cicéron, *De Divinatione*, I, 1.

(2) Letronne, *Origine des zodiaques*, p. 19. Septime Sévère fit placer son horoscope au plafond de son prétoire au Palatin.

(3) Cf. Letronne, *Observations critiques*, surtout la deuxième partie.

Dans l'Égypte romaine, plus que partout ailleurs, la contagion sévit avec virulence. L'histoire l'atteste. Outre les zodiaques des temples et des cercueils, contentons-nous de rappeler la numismatique alexandrine qui nous montre le buste de Sérapis (et d'Isis), dieu solaire et déesse lunaire, entourés du zodiaque. Une série curieuse de pièces, datant de l'an VIII de Trajan (145-146), contiennent le thème natal du monde, c'est-à-dire qu'elles indiquent la place que les planètes occupaient dans le zodiaque au moment de la création de l'univers. Entre ces monuments, grands ou petits, et l'infatuation astrologique contemporaine, il y a une liaison évidente, qui nous en donne le moment et surtout la nature. Pour nous en convaincre, regardons d'un peu près le plus fameux de ces monuments : le planisphère de Denderah, tel qu'il a été élucidé par Boll, à la lumière des textes.

« On y reconnaît aisément la série des douze signes du zodiaque, dessinant un cercle oblique, c'est-à-dire inégalement éloigné du pôle, situé au centre de la pierre. Les cinq planètes, sous l'apparence de divinités égyptiennes, se trouvent : Saturne près de la Balance, Jupiter du Cancer, Mars du Capricorne, Vénus des Poissons, Mercure de la Vierge, c'est-à-dire qu'elles sont figurées dans le signe où les astrologues plaçaient leur « exaltation » (ὕψωμα), celui où elles acquièrent leur maximum d'énergie. Dans le zodiaque rectangulaire qui décore le pronaos du temple, on les voit au contraire dans les signes qui étaient regardés comme leur « domicile ». Les figures curieuses de personnages et d'animaux sculptés des deux côtés du zodiaque sont celles des « paranatellons », c'est-à-dire des constellations boréales et australes qui se lèvent en même temps que chacun des signes (παρανάτελλειν) et dont l'influence modifie la leur. Enfin les trente-six dieux des décans forment comme une bordure autour de la plaque circulaire. Nous avons donc sous les yeux une représen-

tation astrologique du ciel tel qu'on le concevait en Égypte vers le début de notre ère » (1).

Venons maintenant au cas d'un particulier, cas non moins caractéristique et représentatif. En novembre 1823, le voyageur Cailliaud (2) rapportait de Thèbes une caisse de momie. Des savants furent invités à l'ouverture du cercueil. Au fond du couvercle se trouvait figuré un zodiaque identique à ceux de Denderah. Une inscription grecque trouvée sur une moulure de la caisse apprit à Letronne que le corps là enfermé était celui d'un certain Petemenon ou Ammonius, Πετεμένων ὁ καὶ Ἀμμώνιος (3), fils de Soter et de Cléopâtre, qui mourut à l'âge de vingt et un ans, quatre mois et vingt jours, la dix-neuvième année de Trajan, le huitième jour de Payni (2 juin de l'an 116 de notre ère).

De l'inscription il passa au zodiaque et y remarqua une particularité, qui n'existe pas à Denderah : le signe du Capricorne est retiré de la série des autres signes et placé au-dessus de la tête de la figure, à côté de sa main droite, dans une position isolée, d'où il semble la dominer. Cette particularité note évidemment qu'il y a là un rapport au corps momifié, que l'objet du zodiaque est astrologique, que le personnage était né sous l'influence de ce signe. En effet, on a l'âge exact de Petemenon, avec la date de sa mort. Calculant d'après ces bases, on voit qu'il naquit le 12 janvier de l'an 95 de l'ère chrétienne : ce jour-là le soleil se trouve aux deux tiers environ du Capricorne. Si, au lieu du signe, on interroge la constellation, la conclusion sera la même, car, en calculant d'après la table de Delambre, selon la précession annuelle, on aper-

(1) F. Cumont, *loc. cit.*

(2) *Voyage à Meroé*, 1862-1827, t. IV, pp. 1 sq. — Cailliaud (Frédéric), né et mort à Nantes (1787-1869), visita aussi l'oasis de Thèbes en 1821 et l'oasis de Syouah en 1823.

(3) Ammonius, l'Amonien, est la traduction exacte de Petemenon, le donné d'Amon, expression égyptienne analogue à notre Déodat, *Deodatus*, Dieudonné.

çoit qu'à l'époque en question la constellation entière était dans le signe, et que le 12 de janvier le soleil était au seizième degré de la constellation. Cette coïncidence complète la démonstration. Petemenon était donc né sous le signe du Capricorne. L'ensemble du tableau rappelait que, pieusement momifié, l'immortalité sidérale lui était réservée.

Ce zodiaque et, par conséquent, ceux de Denderah et d'Esneh, qui ont avec lui tant d'analogies, ne sont donc que des monuments astrologiques.

Une telle réunion de faits, de dates modernes et à peu près contemporaines de tous les zodiaques, et par-dessus tout l'influence des idées astrologiques dans le seul temps où fut fait tout zodiaque existant en Égypte, ne nous permettent plus de douter que toutes productions de ce genre ne soient simplement des restes de la science occulte, et qu'ils ne représentent des sujets généthliaques (1).

« En voilà assez, répéterons-nous ici après Cuvier, en voilà assez pour dégoûter un esprit bien fait de chercher dans l'astronomie la preuve de l'antiquité d'un peuple ». Et nous conclurons, avec Chabas (2), que « Dupuis avait tout simplement jeté l'ancre au milieu d'un océan d'erreurs » ; avec Letronne, que les zodiaques, « au lieu de recéler, comme on se l'était promis, le secret d'une science perfectionnée bien avant le déluge, ne sont plus que l'expression de rêveries absurdes et la preuve vivante d'une des faiblesses qui ont le plus déshonoré l'esprit humain ».

Toutefois, la querelle, vaine pour la chronologie, n'avait pas été perdue pour la science historique. L'on connaissait désormais la signification, l'origine et la date des zodiaques égyptiens. D'autre part, il demeurait établi, à l'encontre d'une légende tenace, qui domine encore dans la *Description de l'Égypte* (3), que la conquête persane, malgré la

(1) Cf. Letronne, *Observations critiques*, pp. 30, 49, 53-54, 105-108.
(2) *Études sur l'antiquité historique*, 1873, p. 588.
(3) Jomard, Jollois et Devilliers n'ignoraient pas les inscriptions

folie de Cambyse (523) et les pillages d'Artaxerxès III Ochus (339), n'avait pas porté un coup mortel aux arts et aux institutions de l'Égypte ; que ces arts et ces institutions, la religion qui les animait, la langue qui les exprimait, s'étaient maintenus, sinon sans défaillance, du moins en accord avec la tradition (1) ; que le Lagide et le César, partout ailleurs Grec et Romain, avaient voulu être en Égypte, par sagesse politique, l'incarnation du pharaon, servant, comme lui et sous les mêmes attributs, les dieux du pays, leur élevant des temples analogues aux anciens, y recevant l'apothéose, et donnant aux Égyptiens l'illusion de la continuité de leur vie nationale.

La querelle des zodiaques ne fut pas non plus perdue pour Letronne et Champollion. Le premier en sortit avec le renom bien gagné d'helléniste habile et de critique sagace ; le second, avec le rayon de gloire qui consacre une découverte. Le fantôme des six mille ans évanoui, la fièvre de la *zodiacomanie* tombée, les zodiaques réfugiés au ciel des académies, on respirait enfin, et l'on acclamait les vainqueurs. La presse d'extrême droite exalta Champollion. On oubliait soudain son libéralisme politique, son attitude aux Cent-Jours et pendant les troubles de Grenoble en 1821 (2). On alla même jusqu'à déclarer qu'il n'avait entrepris le déchiffrement des hiéroglyphes que pour ruiner les zodiaques et défendre Moïse. La *Gazette de France* en fit presque un Père de l'Église. A tout le moins, c'était excessif (3).

grecques gravées sur la façade des temples. Ils y devinèrent une objection possible et crurent la prévenir en disant que ces inscriptions étaient une simple prise de possession. Cf. *Description*, 2e édition, t. III, pp. 393 sq.; t. IX, pp. 407 sq.

(1) Darius Ier éleva un temple en l'honneur d'Amon dans l'oasis de Khargeh.

(2) Le baron d'Haussez, naguère bonapartiste fervent, présidait alors au département de l'Isère. Pour lui, Champollion était un « jacobin enragé ». Il lui en voulait à mort. On eut grand'peine à le tirer de ses mains en 1821.

(3) Naturellement Champollion ne goûta pas cette outrance

Nous préférons rappeler que par là le déchiffreur s'attira l'estime du haut clergé et se concilia l'amitié du duc de Blacas, l'amitié aussi de tout ce qui gravitait autour de ce dernier. Il ne marcherait plus seul désormais. Harcelé par ses envieux, on le soutiendrait puissamment dans sa lutte pour achever le triomphe de cette Égyptologie qui portait le coup de grâce aux zodiaques (1), comme don de joyeux avènement.

CAMILLE LAGIER.

ni « cette odeur de sainteté » qu'on lui prêtait. Il s'en plaignit dans l'intimité en termes très vifs contre des journaux qui avaient été jusque là les organes de ses adversaires. Cf. *Lettres et journaux*, t. I, pp. 229-230.

(1) Le coup de grâce rejaillissait sur les défenseurs de la haute antiquité des zodiaques. Avant de rien publier, Champollion avait eu à cœur de préparer Fourier à la déception. Celui-ci, profondément surpris, ne pouvait que se rendre à l'évidence. De la *Lettre à Dacier*, il dit en propres termes à son auteur : « C'est de la géométrie, mais les antiques institutions de l'Égypte sont écrites ailleurs en signes ineffaçables ; vous nous le démontrerez par la suite de vos recherches ; quant à celles-ci, c'est une découverte qui doit vous surprendre autant que moi-même. Vous êtes, je crois, dans une heureuse voie ; persistez, et tous nos rêves, sur cette admirable civilisation se changeront en réalités. » Champollion-Figeac, *Fourier et Napoléon*, pp. 58-59.

Radiations et Quanta

Une radiation (mouvement vibratoire de période τ de fréquence ν) transporte dans la direction de sa propagation une *énergie* qu'on peut définir avec Planck par le produit $h\nu = \epsilon$. Si h est une constante universelle, c'est-à-dire garde la même valeur numérique pour toutes les fréquences, ϵ s'appelle *quantum caractéristique de la radiation* ν.

Quand on mesure ϵ en ergs, $h = \epsilon\tau$ se mesure en ergs-secondes. Il est de même nature que l'*action* étudiée en Mécanique rationnelle dans les équations d'Hamilton. Il ne doit pas être confondu avec l'énergie ϵ ; il conviendrait de donner à ces deux grandeurs des noms différents.

L'usage a prévalu d'appeler quantum tantôt h et tantôt ϵ. Dans la théorie de l'atome, on envisage des orbites à 1, 2, 3,... n quanta. Il s'agit, en réalité, de trajectoires caractérisées par $1h$, $2h$, $3h$,... nh, où n est, non pas une fréquence, mais un nombre entier, un simple facteur numérique indépendant des unités employées pour définir le mouvement étudié. C'est donc d'une *action* qu'il s'agit et l'emploi du mot quantum pour la désigner ne peut engendrer que confusion et erreur.

Ne pouvant aller contre un usage universellement adopté, je m'efforcerai de distinguer, au cours de cet article, les deux significations. Le quantum simplement dit désignant le quantum *énergie*, j'appellerai *quantum h* le quantum *action*.

J'étudierai la théorie des quanta, d'abord dans le

rayonnement du corps noir où elle a pris naissance, ensuite dans la constitution de l'atome et de la molécule sources de radiations, où elle a trouvé de multiples et fécondes applications.

Rayonnement du corps noir

Par analogie avec le noir de fumée qui, à la température ordinaire, a le pouvoir absorbant maximum, on appelle corps noir celui qui, *à toute température* et pour toutes les radiations, a un pouvoir absorbant égal à l'unité.

Il absorbe tout ce qui le rencontre ; rien n'est réfléchi, diffusé ou transmis.

Le pouvoir émissif, ou rayonnement du corps noir, est indépendant du milieu ambiant ; il dépend seulement de la température et de la fréquence des radiations émises. Pour une température donnée, il est nul aux fréquences extrêmes 0 et ∞, il est maximum pour une fréquence déterminée qui croît proportionnellement à la température absolue T.

Le rayonnement total (somme des rayonnements pour toutes les fréquences) croît comme T^4 ; il est fini à toute température. Dans l'espace où elle se propage, l'énergie a donc une *densité finie.*

Ces lois expérimentales ont été condensées en des formules auxquelles on demande de traduire le plus exactement possible les faits qu'elles résument.

La formule de Wien, satisfaisante pour de petites longueurs d'onde et des températures peu élevées, laisse à désirer pour l'infra-rouge au-dessus de 1000 degrés.

Planck a indiqué une formule dont la vérification est meilleure. Le pouvoir émissif, pour les fréquences comprises entre ν et $\nu + d\nu$, à la température T, est proportionnel à

$$\frac{\nu^3 d\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

$h\nu$ est le quantum ϵ ; k est la constante des gaz parfaits calculée pour une molécule : $pv = kT$.

Quand il veut montrer, à partir de cette expression, que le rayonnement *total* est *fini* et croît comme T^4, Planck pose l'équation (pour n assez grand) :

$$\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = e^{-\frac{h\nu}{kT}} + e^{-2\frac{h\nu}{kT}} + \ldots + e^{-n\frac{h\nu}{kT}} + \ldots \qquad (1)$$

D'où :

$$\int_0^\infty \frac{\nu^3 d\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \int_0^\infty \left[e^{-\frac{h\nu}{kT}} + e^{-2\frac{h\nu}{kT}} + \ldots \right] \nu^3 d\nu = A\left(\frac{kT}{h}\right)^4 \qquad (2)$$

L'équation (1) renferme toute la théorie des quanta.

Elle contient, au second membre, une série géométrique dont, par application de la formule usuelle, le premier membre exprime la somme pour n assez grand. La fonction continue du premier membre est remplacée au second par la somme de fonctions dont chacune, considérée isolément, est continue, mais séparée de toutes les autres par une discontinuité. La propriété analytique de la série géométrique concerne seulement la *somme totale*, quels que soient séparément les termes additionnés.

Planck interprète l'équation mathématique. Pour lui, chaque terme du second membre représente une réalité physique, à savoir l'émission énergétique d'*un groupe* de radiateurs de fréquence propre ν. Il y a plusieurs groupes de la même fréquence ; le premier membre de (1) représente l'émission de l'ensemble.

Les effets de chaque groupe, en l'espèce les énergies qu'ils rayonnent, s'ajoutent *arithmétiquement* pour former le rayonnement caractéristique de la fréquence ν.

La même représentation vaut pour chaque fréquence ν [équation (2)].

Pour concrétiser le phénomène, il faut admettre sur

l'unité de surface radiante d'un corps noir un nombre N relativement grand (un millier par exemple) d'oscillateurs électriques de fréquence propre ν, *capables* d'émettre des ondes électromagnétiques de même fréquence.

L'émission *effective* n'est pas la même pour tous. Un nombre limité n émet $\epsilon = h\nu$; un nombre plus petit n_2 émet $2\,h\nu$; un nombre moindre encore n_3 émet $3h\nu$; etc. *Il n'y a pas d'oscillateurs émettant une fraction ou un nombre fractionnaire de* $h\nu$. Les oscillateurs n'émettant rien du tout sont relativement très nombreux ; ils ne sont pas représentés dans la somme (1) ; si l'on veut, ils sont représentés par un terme *zéro* qu'on est libre d'ajouter au début.

L'équation exprime que les n_1 oscillateurs émettant *un* quantum $h\nu$ fournissent au rayonnement caractéristique :

$$n_1 h\nu = \nu^3 e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

Les n_2, n_3... oscillateurs à deux, trois, quanta fournissent :

$$n_2 h\nu = \nu^3 e^{-\frac{2h\nu}{kT}}$$

$$n_3 h\nu = \nu^3 e^{-\frac{3h\nu}{kT}}$$

Ces égalités définissent les nombres n_1, n_2, n_3 c'est-à-dire la répartition du rôle émetteur entre les N oscillateurs susceptibles de le remplir. La loi de répartition admise suppose que l'augmentation du nombre de quanta ϵ émis par un oscillateur ne compense pas la réduction du nombre d'oscillateurs émettant ces quanta. Dans la somme totale, la contribution des unités à rendement élevé reste inférieure à la contribution des unités à rendement moindre.

Pour le remboursement de leurs obligations par tirages à lots, les sociétés de crédit adoptent généralement des lois de distribution différentes. Le gros lot unique absorbe

souvent une plus forte somme que l'ensemble des autres lots. Ce n'est pas une raison pour repousser les suggestions de Planck en matière de rayonnement.

Il y a plus de difficultés à admettre la discontinuité des émissions dues aux différents groupes. A vrai dire, rien dans la Mécanique classique ne suggère une fragmentation de l'énergie en unités aussi sévèrement individualisées. Seule, la forme de l'équation (1) *s'accommode mathématiquement* de cette conclusion.

A une valeur de la variable ν correspondent les valeurs ν, 2ν, 3ν, pour le premier, le second, le troisième terme. Aucune des valeurs intermédiaires ne figure au second membre.

Il est vrai que ν est en exposant, qu'il est mutiplié par h et divisé par kT. C'est là précisément que s'introduit le quantum unité d'énergie. L'exposant de e est un nombre indépendant de toutes unités ; kT est mesuré en unités d'énergie, en ergs par exemple ; $h\nu$ représente donc aussi un travail ; il est l'unité naturelle pour le calcul présent. Il ne servirait de rien de changer d'unités. Les mêmes doivent être employées dans kT et dans $h\nu$; d'où l'invariance du résultat. A chaque fréquence ν correspondent donc des oscillateurs ou radiateurs émettant $h\nu$, $2h\nu$, $3h\nu$,... tous les autres restant inertes.

Ces conclusions mathématiques s'imposent-elles si rigoureusement qu'on ne puisse les éluder ? Beaucoup de physiciens ont cherché l'échappatoire et ... ne l'ont pas trouvée. Quant aux mathématiciens, voici comment Henri Poincaré répond à la question (1) (texte souligné par son auteur) :

« *Quelle que soit la loi du rayonnement, si l'on suppose que le rayonnement total est fini, on sera conduit à une fonction présentant des discontinuités analogues à celle que donne l'hypothèse des quanta* ».

(1) Journal de Physique, 1912, p. 29.

« Cela suppose toutefois, ajoute Poincaré, l'exactitude de la formule

$$u_\nu d\nu = u_\lambda d\lambda = k\nu^2 Y d\nu$$

(où $u_\nu d\nu$ est l'énergie de rayonnement comprise entre les fréquences ν et $\nu + d\nu$, où k est un coefficient numérique et où Y représente l'énergie moyenne des résonateurs de longueur d'onde λ) et, sur ce point, des doutes restent permis puisque M. Planck n'a pu l'établir qu'en s'appuyant sur les principes de l'Électrodynamique classique que sa théorie a précisément pour objet de remplacer .

Je n'entrerai pas dans la discussion des raisons et des restrictions mises en avant par Poincaré.

Je ferai seulement observer que l'équation (1) exprime une équivalence énergétique de certains systèmes. Elle ne prouve pas l'existence réelle des éléments qui constituent l'équivalence. Une vibration rectiligne polarisée est *cinématiquement équivalente* à deux vibrations circulaires inverses d'égale amplitude et de même période. Un vecteur est géométriquement équipollent à une infinité de systèmes de vecteurs. On substitue un système à l'autre suivant les besoins ou la commodité. Rien n'oblige à admettre un système préférablement à l'autre ou à un troisième toujours possible.

La seule question importante pour le physicien est la suivante :

Dans l'hypothèse posée par Planck et admise par Poincaré, comment pouvons-nous représenter le mécanisme de l'émission ?

L'énergie radiée par un oscillateur est proportionnelle au carré de son amplitude. Les radiateurs inertes ont, par définition, une amplitude nulle ; les radiateurs à un quantum $h\nu$ ont une amplitude représentée par 1, les radiateurs à 2, 3,.. n quanta ont une amplitude représentée par $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{n}$. *Il n'y a pas de radiateurs de cette fréquence ayant des amplitudes intermédiaires.*

Figurons les oscillateurs par 146 lames métalliques vibrantes, accordées pour la même fréquence ν, encastrées le long d'une poutre, avec leurs extrémités libres parallèles et alignées ; l'émission de la radiation ν pourra être représentée par l'état suivant :

NOMBRE DE LAMES DE MÊME AMPLITUDE	100	37	6	2	1
AMPLITUDE	0	1	1,41	1,73	2,00
ÉNERGIE TRANSMISE	0	37	12	6	4

Les 100 lames immobiles sont, d'après les hypothèses, réparties au hasard, c'est-à-dire, à peu près uniformément sur toute la longueur du support ; il en est de même des 37 ayant l'amplitude 1 et généralement de tous les groupes. Dans le cours d'une expérience, les lames échangeront leurs amplitudes, suivant la loi du hasard, mais, *en moyenne*, il y aura toujours le même nombre de lames ayant même amplitude.

Comme le fait remarquer Poincaré, une théorie du rayonnement caractéristique de la fréquence ν doit donner une intégrale finie quand on fait varier ν de zéro à l'infini. C'est ce qu'on obtient avec l'équation (2) de Planck dont il importe de saisir le sens physique.

L'émission ne peut se faire que par quanta indivisibles ; h est une constante universelle, valable pour toutes les fréquences ; *le quantum d'émission* $h\nu$ *croît donc avec la fréquence.* Quand ν augmente indéfiniment, ϵ croît de même au delà de toutes limites.

En admettant qu'il y ait des oscillateurs pouvant vibrer à des fréquences fantastiques, il n'existera pas de source d'énergie capable d'entretenir cette vibration, pour l'émission correpondant à un quantum ; à plus forte raison aucune vibration à 2, 3,... quanta de la même fréquence ne sera possible.

L'hypothèse de Planck ramène ainsi à une valeur *nulle l'énergie émise par les radiateurs de longueur d'onde*

nulle. Ce résultat est d'autant plus satisfaisant que, jusqu'à Planck, les lois admises conduisaient à une valeur infinie et que, depuis l'origine de la théorie, le domaine des radiations s'est considérablement étendu du côté des très courtes longueurs d'onde.

Dans le spectre visible, les fréquences sont de l'ordre de 5.10^{14} ; on a mesuré des radiations X de fréquence 10^{20} (les rayons γ émis par les corps radioactifs font prévoir des fréquences encore plus élevées). Calculons le quantum qui leur correspond à partir de la valeur de h généralement adoptée : $6{,}55.\ 10^{-27}$ ergs $\times$ secondes. On trouve $3{,}28\ 10^{-12}$ et $6{,}55.^{-7}\ 10$ ergs. Si le premier est minime, le second représente une énergie appréciable qu'il faut comparer à l'énergie émise, non pas par une source de dimensions finies, mais par une extrêmement petite fraction de millimètre carré de cette source. Les oscillateurs dont un seul est ici envisagé sont en nombre très grand par millimètre carré de surface radiante.

Je n'étudierai pas en détail comment la source chaude transmet aux vibrateurs l'énergie qu'ils doivent rayonner, comment les vibrateurs *absorbent* l'énergie incidente. Je dois envisager seulement la *quantification* de cette absorption qui a été successivement admise (1901) puis abandonnée (1911) par Planck. La théorie actuelle admet que les résonateurs peuvent *absorber de l'énergie sans vibrer* ; *l'absorption est continue, l'émission seule est discontinue.*

Tant que l'énergie absorbée et emmagasinée est inférieure à un quantum $h\nu$, le vibrateur demeure inerte (amplitude nulle). Quand l'énergie enmagasinée atteint un quantum, il vibre avec l'amplitude 1. Si l'énergie disponible est supérieure à $h\nu$, mais inférieure à $2h\nu$, il vibre avec l'amplitude 1, puis, ayant dissipé $h\nu$, il revient au repos, gardant l'excédent d'énergie en réserve. Si la disponibilité est intermédiaire entre $2h\nu$ et $3h\nu$, $3h\nu$ et $4h\nu$, l'amplitude deviendra $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$; l'intensité émise sera $2h\nu$, $3h\nu$, avec mise en réserve de l'excédent.

Ces conceptions bizarres s'écartent notablement des notions classiques. La mise en réserve d'énergie *sans changement apparent du système* n'a d'analogue dans aucun phénomène connu.

Une masse d'eau qui absorbe de la chaleur s'échauffe ou se vaporise; un volant ne sert de régulateur que parce que sa vitesse est susceptible de petites variations qui ne manquent pas de se produire si les résistances passives croissent ou diminuent.

Aux radiateurs de Planck qui dissipent l'énergie sous forme de vibrations d'amplitude et de fréquence déterminées, on interdit tout changement de cette amplitude qui ne correspond pas à un multiple de $h\nu$. Il est vrai qu'on s'abstient de préciser sous quelle forme ils absorbent l'énergie. Le schéma que j'ai développé montre que ce n'est pas à la manière d'un volant ou d'une lame métallique. Ce n'est pas non plus à la manière d'une chaudière dont la température s'élève si aucune prise de vapeur n'y est faite.

Mais il est vain de chercher des représentations. Les auteurs ont seulement cherché à éviter la contradiction et, pour le reste, se retranchent derrière cette déclaration générale préalable que la Mécanique classique vaut seulement pour les systèmes ordinairement envisagés, mais perd toute sa valeur pour les électrons et les atomes dont les masses et les distances sont très petites, et les vitesses très grandes.

Voyons donc quels éléments de solution la théorie des quanta fournit au problème de la constitution des atomes.

Constitution de l'atome

Bohr et Sommerfeld supposent l'atome composé d'électrons gravitant autour d'un noyau chargé d'électricité positive sous l'action des forces électrostatiques définies

par la loi de Coulomb (proportionnelles aux charges, en raison inverse du carré des distances).

Le noyau positif est quasi immobile du fait de sa masse prépondérante (environ 2000 fois plus grande que la masse d'un électron).

Dans ces conditions, l'atome est un système solaire en miniature dont les électrons représentent les planètes. Les orbites des satellites sont des ellipses dont le noyau occupe un foyer. La loi des aires et la loi des durées de révolution leur sont applicables.

Pour déterminer complètement le problème, il faut se donner la longueur des grands axes des ellipses. A cette fin, en Cosmographie, on utilise la loi de Bode qui, à vrai dire, ne fournit qu'une règle mnémonique. On ne l'applique pas à Mercure, et la distance qu'on en tire pour Neptune est notablement trop grande. Les tentatives qu'on a faites pour l'améliorer ou la remplacer ont toujours échoué. Il n'y a aucun rapprochement utile à établir entre la loi de Bode et le principe qui en tient lieu dans la théorie de l'atome.

Bohr, puis Sommerfeld ont admis, pour les électrons atomiques, des orbites *privilégiées* dont le privilège consiste dans une certaine *stabilité de mouvement*. La trajectoire fermée est parcourue indéfiniment, suivant les lois de Kepler, tant qu'une cause extérieure ne vient pas troubler le mobile.

Les orbites privilégiées, définies par leurs grands axes, sont multiples ; la stabilité varie en raison inverse de ces grands axes. Pour jeter un électron hors de son orbite, il suffit d'une perturbation d'autant plus petite que le grand axe est plus grand. En l'absence de toute perturbation, il y a toujours tendance d'un électron à occuper une orbite de plus grande stabilité, c'est-à-dire, de moindre grand axe, pourvu qu'une place s'y trouve disponible. La théorie n'admet pas l'union d'un électron et du noyau positif ; ce serait admettre la circulation sur une ellipse

évanouissante d'un mobile animé d'une vitesse infinie. La stabilité est donc maxima sur l'orbite la plus proche du noyau, *distincte du noyau.*

Deux ou plusieurs électrons peuvent décrire la même orbite ; il peut y avoir plusieurs orbites de même stabilité. L'ensemble des orbites de même stabilité (de même grand axe), qu'elles soient coplanaires ou non, symétriques ou non par rapport à un plan ou à un axe, s'appelle un *niveau.* La surface que définit cette appellation est le lieu des orbites de même grand axe. Elle est généralement de forme très complexe ; sa définition algébrique est, par contre, relativement simple en fonction de l'*énergie totale* du mobile circulant sur son orbite.

L'énergie totale est la somme de l'énergie cinétique C et de l'énergie potentielle P. Conformément aux principes de la Mécanique classique, la somme des deux énergies reste constante. Quand il s'approche du noyau, l'électron perd de l'énergie potentielle et gagne de l'énergie cinétique.

Mais c'est du *mouvement stable sur les orbites privilégiées* qu'il s'agit. Les énergies cinétique et potentielle y varient d'un maximum à un minimum, leur somme restant invariable *à chaque instant* $W = C + P$; elles y ont respectivement des valeurs *moyennes*, C_m, P_m.

D'après les théorèmes classiques de la mécanique et de l'électrostatique, *la somme constante W (énergie totale) égale, en valeur absolue, l'énergie cinétique moyenne* C_m. Je dis en valeur absolue ; en réalité, les signes sont contraires. Ce que nous appelons énergie potentielle P se calcule d'après les formules de l'électrostatique appliquées à deux masses $+ E$ et $- e$ séparées par la distance r.

$$P = -\frac{Ee}{r}$$

C'est un *travail positif*, effectué à partir de $r = \infty$ où $W = 0$; c'est donc une *diminution* d'énergie. L'énergie cinétique, par contre, ne peut être que positive.

On a donc : $$W = -C_m.$$

C'est dans l'expression de C_m qu'intervient une première fois la théorie des quanta, traitant de façon indépendante chacune des composantes de la vitesse.

En définissant, comme d'ordinaire, la position du mobile sur son orbite par les coordonnées ϵ, θ et φ (l'angle φ repère la position du plan de l'ellipse par rapport à un plan fixe origine), et en désignant par μ la masse de l'électron, on pose :

$$I_1 = \int_0^\tau \mu \frac{dr^2}{dt^2} dt = n_1 h$$

$$I_2 = \int_0^\tau \mu r^2 \frac{d\theta^2}{dt^2} dt = n_2 h \qquad (3)$$

$$I_3 = \int_0^\tau \mu r^2 \frac{d\varphi^2}{dt^2} dt = n_3 h$$

μ est la masse de l'électron : n_1, n_2, n_3 sont des *nombres entiers* quelconques, indépendants de toutes unités de mesure. Les intégrales représentent une *action* au sens d'Hamilton, grandeurs de même nature que h. (Au facteur près $1/\tau$, elles sont de même nature que la puissance efficace d'un courant électrique alternatif.)

On a : $$I_1 + I_2 + I_3 = (n_1 + n_2 + n_3)\, h = nh$$

équation qui définit le *nombre total n de quanta h* caractérisant un *niveau* (deuxième sens du mot quantum).

Toutes les orbites d'un même *niveau* ont le même nombre total n de quanta h ; mais leur répartition entre I_1, I_2, I_3 varie d une orbite à l'autre.

Il y a une restriction à ces variations : n_2, quantum angulaire ou azimutal, ne peut jamais s'annuler. L'orbite de l'électron doit toujours *contourner* le noyau.

Si n_1 est nul, l'orbite est un cercle. Si, ce que je suppose généralement dans la suite, n_3 est nul, le plan de l'orbite est invariable.

Pour une orbite de grand axe $2a$, on établit aisément la relation :

$$-W = +C_m = -\frac{Ee}{2a}$$

Or, l'énergie cinétique moyenne C_m se déduit aisément des équations (3)

$$2C_m = \frac{I_1 \times I_2}{\tau} = (n_1 + n_2)\frac{h}{\tau} = -\frac{Ee}{a}$$

où τ est la durée de révolution sur l'orbite définie par la troisième loi de Kepler :

$$4\pi^2\mu a^3 = Ee\,\tau^2$$

La loi des aires donne, en désignant par l le demi petit axe :

$$I_2 = \frac{2\pi\mu ab}{\tau} = n_2 h.$$

D'où finalement :

$$\frac{b}{a} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \qquad (4)$$

et :

$$-W = \frac{2\pi^2\mu e^4}{h^2}\left(\frac{E}{e}\right)^2 \frac{1}{(n_1 + n_2)^2} = \frac{H}{(n_1 + n_2)^2} = Hn^{-2} \qquad (5)$$

ou, en réintroduisant le troisième quantum I_3,

$$-W = \frac{H}{(n_1 + n_2 + n_3)^2} = H(n_1 + n_2 + n_3)^{-2}. \qquad (6)$$

La figure 1 (p. 86) représente des orbites privilégiées coplanaires définies par (5) pour $n = 1, 2, 3, 4$, et pour les valeurs *entières* acceptables de n_1 et n_2.

Le centre commun à tous les cercles est foyer commun à toutes les ellipses.

Le cercle de rayon minimum est la seule orbite de son espèce et constitue le niveau 1 de stabilité maxima, à un quantum unique h, $n = n_2 = 1$, $n_1 = 0$.

Le cercle et l'ellipse réunis par le trait — 2 — consti-

tuent le niveau 2 : $n = 2 = n_1 + n_2$; sur le cercle $n_1 = 0$; $n_2 = 2$, sur l'ellipse $n_1 = n_2 = 1$.

Le niveau 3 se compose du cercle et des 2 ellipses réunies par le trait — 3— horizontal ; $n_2 = 3$ sur le cercle, 2 sur l'ellipse la plus bombée, 1 sur l'ellipse la plus aplatie.

Même discussion pour le niveau 4 dont les 4 orbites sont réunies par le trait — 4 — dirigé vers le bas.

La *direction des grands axes* est à priori quelconque : c'est pour rendre la figure plus claire que la même a été donnée à toutes les ellipses d'un même niveau.

Le tableau suivant donne les valeurs numériques caractéristiques.

$n = n_1 + n_2$	*Niveau*	n_1	n_2	$\frac{b}{a}$	$2a$	*Orbites*
1	K	0	1	1	1	1_1
2	L	0	2	1	4	2_2
»	»	1	1	$^1/_2$	»	2_1
3	M	0	3	1	9	3_3
»	»	1	2	$^2/_3$	»	3_2
»	»	2	1	$^1/_3$	»	3_1
4	N	0	4	1	16	4_4
»	»	1	3	$^3/_4$	»	4_3
»	»	2	2	$^2/_4$	»	4_2
»	»	3	1	$^1/_4$	»	4_1

La deuxième colonne indique la lettre par laquelle on désigne les niveaux dans le domaine X ; la cinquième, le rapport b/a des axes des ellipses ; la sixième, les longueurs des grands axes dont le plus petit est pris pour unité ; la dernière, une notation des orbites dans laquelle le nombre n_2 des quanta azimutaux sert d'indice au nombre total $n_1 + n_2 = n$. La remarque faite ci-dessus justifie l'importance spéciale aussi attribuée à n_2 ; on n'envisage jamais le cas $n_2 = 0$.

La figure 1 montre comment, suivant l'excentricité des orbites, le nombre total des quanta h se répartit entre n_1 et n_2. Par exemple, sur le cercle 4_1, $I_1 = 0$; toute l'énergie cinétique est de rotation, soit C_m sa valeur égale au

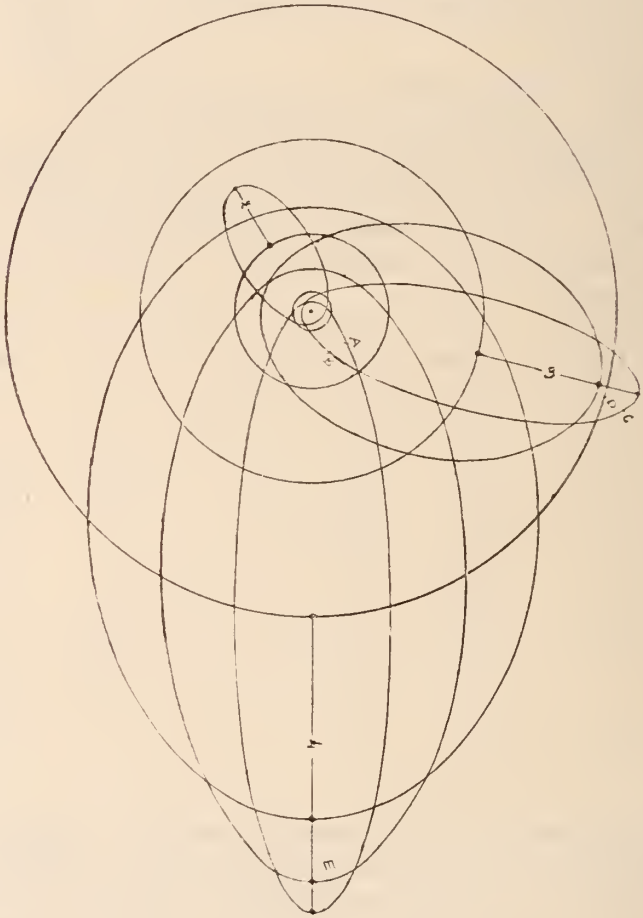


Fig. 1.

produit du moment d'inertie par le carré de la vitesse angulaire. L'ellipse 4_3 impose au mobile, au périhélie, un moment d'inertie plus petit et une vitesse angulaire plus grande ; d'après la loi des aires, l'énergie cinétique

de rotation est *à ce moment* $< C_m$; mais à l'aphélie, la variation inverse a lieu et la durée du parcours est plus grande sur cette portion de l'ellipse. Or, I_2 est l'intégrale de l'énergie cinétique *pour la période entière*. I_2 diminue donc; par contre, il est évident que I_1, a pris une valeur importante. Le calcul montre qu'il y a compensation, la somme $I_1 + I_2$ restant constante. Le résultat est plus frappant sur la plus excentrique des ellipses 4_1. L électron tourne de 180 degrés autour du foyer en un temps extrêmement court après lequel l'énergie cinétique de rotation devient pratiquement négligeable, tandis que l'énergie de translation augmente.

Les trajectoires envisagées sont coplanaires ; $n_3 = 0$. Les propriétés restent les mêmes si les plans sont quelconques ; on doit encore poser $n_3 = 0$ si les plans quelconques gardent une position invariable.

En toute hypothèse, les ellipses ont un même foyer qui est le noyau positif de l'atome.

La rigueur apparente des formules et la belle ordonnance des figures ne doivent pas faire oublier la gratuité des hypothèses qui leur servent de base.

L'arbitraire intervient à deux reprises dans les équations (3) : une première fois quand on considère l'une des composantes de la vitesse indépendamment des deux autres ; une seconde fois quand on limite à un nombre entier de quanta h sa part contributive dans l'énergie cinétique pendant une période du mouvement.

Admettre les équations (3) c'est imposer dans (5) et (6) des valeurs entières pour n_1, n_2, n_3 ; c'est admettre pour les orbites ainsi définies, à l'exclusion de toutes les autres, un *privilège* que les lois de la Mécanique classique sont impuissantes à justifier.

Si les lois des attractions électrostatiques sont ainsi déformées, celles de l'électromagnétisme sont complètement laissées de côté. Un électron en mouvement transporte son champ électrique avec lui ; équivalent à un

courant dont le circuit est dessiné par son orbite, il crée un champ magnétique dans l'espace voisin. Le système champ électrique et champ magnétique périodiquement variables se propageant dans l'éther ambiant avec la vitesse de la lumière constitue, à proprement parler, une radiation.

La théorie que j'expose n'admet pas et ne peut pas admettre cette radiation. Ce serait admettre une émission d'énergie pendant le parcours d'une orbite qui cesserait alors d'être stable ; l'énergie émise ne peut être compensée que par une diminution de l'énergie totale et donc par une diminution du grand axe de l'ellipse.

Les promoteurs de la théorie ne nient pas l'existence des forces électromagnétiques dissipatrices d'énergie ; ils les considèrent seulement comme négligeables. Il faudra cependant en tenir compte tout à l'heure pour expliquer le rayonnement caractéristique des atomes.

La circulation sans émission est particulièrement difficile à admettre dans le cas des ellipses très aplaties sur lesquelles le mouvement est très loin d'être uniforme, et l'accélération généralement très oblique sur la trajectoire.

Une analyse plus approfondie du mouvement orbital a amené Sommerfeld à introduire les modifications suivantes dont l'importance est considérable dans l'analyse des doublets et triplets des spectres.

Sur la première orbite circulaire (niveau K) de l'atome d'hydrogène, l'électron parcourt 2200 kilomètres à la seconde (diamètre de l'orbite 10^{-7} mm., nombre des révolutions par seconde $6{,}6.\ 10^{15}$). Au niveau suivant (L), sur le cercle 2_2, la vitesse est réduite de moitié, soit 1100 kilomètres à la seconde ; mais sur l'ellipse 2_1 ($b/a = 1/2$) elle varie notablement, passant de 600 vers l'aphélie à 8000 près du périhélie. Si la masse apparente est fonction croissante de la vitesse, l'ellipse de Kepler ne garde pas sa forme invariable ; elle se déforme comme le montre la figure 2, par déplacement du périhélie. La ligne périhélie

aphélie tourne d'un mouvement uniforme dans le plan de la courbe qui n'est plus rigoureusement elliptique. Pour un tour complet de la courbe, l'électron contourne un grand nombre de fois le foyer toujours supposé fixe.

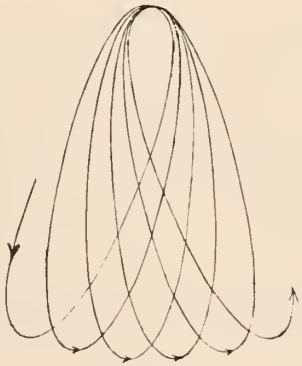


Fig. 2.

Cette altération des orbites affecte *toutes les ellipses* : elle a d'autant plus d'importance que le grand axe est plus grand et plus grande aussi l'excentricité.

Continuant à définir les quanta h pour une révolution autour du foyer, on conserve la définition des niveaux par le nombre total $n = n_1 + n_2$. Mais *l'énergie totale cesse d'être la même pour les différentes ellipses d'un même niveau.* Dans l'expression (5) on introduit une correction sous forme de deux paramètres s et σ ajoutés à n.

$$W = H\,(n + s + \sigma)^{-2}.$$

s est fonction de n seulement, c'est-à-dire de la longueur du grand axe, σ est fonction de l'excentricité ou du rapport b/a, c'est-à-dire de n_2.

Une justification mathématique de cette expression est inutile, puisqu'il s'agit de termes correctifs petits devant le terme principal n. La meilleure justification est celle de l'expérience qui, dans le phénomène du dédoublement

des raies spectrales, confirme remarquablement les prévisions de la théorie.

Rayonnement caractéristique de l'atome

Les niveaux dans l'atome étant ainsi définis par leur énergie W, on cherche à expliquer le rayonnement caractéristique par un nouvel appel au principe des quanta.

La radiation de fréquence ν définie par son quantum $h\nu$ est rattachée à la constitution atomique par la formule

$$h\nu = W' - W = H\,(n^{-2} - m^{-2}) \qquad (7)$$

L'électron source passe du niveau m au niveau n plus rapproché du noyau ; la diminution de son énergie totale se retrouve sous forme de rayonnement dans l'espace.

Ce passage ne peut avoir lieu qu'après une perturbation. Si l'électron se trouve sur l'orbite m pendant qu'une place libre existe sur l'orbite n, c'est qu'il a été rejeté à cette distance par une cause extérieure accidentelle (corpuscule cathodique, chaleur absorbée, etc.) qui a fourni l'énergie nécessaire à l'éjection temporaire. Le retour a lieu en vertu de la seule tendance des satellites à occuper les niveaux les plus voisins du noyau, ou bien encore de la tendance de l'énergie à se transformer en travail compatible avec les liaisons. Les liaisons sont ici les places disponibles sur les orbites.

L'absorption et l'émission se font par quanta. Pendant qu'il est chassé du niveau n au niveau m, l'électron absorbe une énergie au moins égale à W'-W. Comme les lames vibrantes dont j'ai développé l'analogie, il garde en réserve l'excédent d'énergie sur celle qui l'amène au niveau m ; excédent qui ne suffirait pas à lui faire atteindre le niveau $m + 1$.

Sur ce niveau m, il gravite un court instant suivant les lois du mouvement stable. Des expériences délicates,

d'ailleurs difficiles à interpréter, assignent à cet instant une durée de l'ordre de 10^{-8} secondes, suffisant pour un très grand nombre de révolutions

On peut dire que, quand il retourne à l'orbite n, l'électron part effectivement de l'orbite m.

Le chemin de retour est quelconque à priori ; il comporte seulement des accélérations considérables, ou même des discontinuités dans lesquelles on peut chercher l'origine d'un champ électromagnétique se propageant dans l'espace. Mais que ce champ soit alternatif et de fréquence ν, rien ne l'indique, hormis la théorie des quanta.

On ne peut invoquer un retour avec trajectoire oscillant autour de la trajectoire stable définitive. Le champ de force admis exclut toute trajectoire de cette nature et à fortiori sa multiplicité. Au surplus, quand elles existent, les oscillations de cette nature ont une fréquence caractéristique de la *trajectoire limite d'arrivée.* L'équation (7) la fait dépendre du niveau *de départ.* La même fréquence peut être réalisée à partir de couples de niveaux très éloignés les uns des autres, par exemple 1 et 2 d'une part, 9 et 10 d'autre part.

Après les découvertes de Hertz, les physiciens supposèrent les sources lumineuses composées d'un très grand nombre d'oscillateurs électriques linéaires, ayant chacun leur fréquence propre et émettant dans l'espace des ondes électromagnétiques de cette fréquence. Pour les solides incandescents qui donnent un spectre visible continu, le nombre d'oscillations à admettre devenait infini ; il s'est accru notablement de nos jours par extension des limites des radiations observées; pour les gaz lumineux à spectre de raies, le nombre d'oscillateurs bien que limité reste élevé. On pensait réduire ce nombre au moyen des théories nouvelles et expliquer la multiplicité des raies par la multiplicité des orbites assignables à quelques électrons. Pour multiplier les orbites, on ne craignait pas de bouleverser la Mécanique.

Au bout de cet effort, pour ceux auxquels ne suffit pas le trompe-l'œil des équations, il y a une grande déception. Rien du tout n'est expliqué. La théorie nouvelle *compte en quanta* et *mesure les transmissions* d'énergie opérées de l'atome à l'éther ou inversement ; elle n'analyse pas, elle n'explique pas le *mécanisme de cette transmission.*

Mettre en cause des résonateurs de l'éther mis en branle par l'électron atomique brusquement accéléré ne résout pas le problème; il faudrait montrer comment s'opère cette mise en branle. Assurément, il est plus facile de loger un nombre infini de résonateurs dans l'éther ambiant que sur le corps radiant ; la difficulté commence quand on veut attacher une *signification physique* pas trop incohérente à ces résonateurs.

Bref, la théorie atomique *n'a pas réussi à expliquer l'origine des radiations spectrales.*

Nous lui demanderons seulement un principe de *classification* de ces radiations, en quoi son succès, dès maintenant, est remarquable et fait espérer un brillant développement pour l'avenir. Aussi bien, le nombre de chercheurs qu'occupe le problème est considérable.

Séries spectrales

L'équation (7) définit les séries spectrales.

Quand on tient compte des trois quanta I_1, I_2, I_3 et de la variabilité de la masse, elle s'écrit :

$$h\nu = H\left[(n_1+n_2+n_3+s+\sigma)^{-2} - (m_1+m_2+m_3+p+\pi)^{-2}\right]$$

ou, plus simplement, en explicitant seulement les nombres totaux de quanta h et changeant l'unité de temps :

$$\nu = (n+s+\sigma)^{-2} - (m+p+\pi)^{-2} \qquad (8)$$

s est fonction de n, p fonction de m seulement. C'est, dans l'expression de l'énergie, le terme de correction relatif à la variation de masse *par variation du grand axe,* pour une excentricité donnée.

σ est fonction de n et de n_2, π est fonction de m et de m_2 ; c'est, dans l'expression de l'énergie, le terme de correction relatif à la variation de masse *par variation de l'excentricité*, pour un grand axe donné :

n est constant pour toute la série. Il représentele niveau *où retournent* les électrons temporairement expulsés.

Pour la série, m prend toutes les valeurs entières possibles depuis $n + 1$ jusqu'à l'infini. Il représente le niveau *d'où reviennent* les électrons. Chaque valeur de m définit *un terme* et *une raie* de la série.

Le nombre de termes théoriquement infini est limité pratiquement par l'intensité au-dessous de laquelle une radiation ne peut être observée. L'intensité est proportionnelle au nombre d'électrons jetés, pendant une seconde, du niveau n au niveau m. Il est le plus grand possible quand n-m est le plus petit possible. Quand m augmente, l'intensité devient bientôt négligeable. Cela résulte de la tendance constante des électrons à occuper les niveaux de grand axe minimum.

Les valeurs de n définissant une série ne sont également limitées que par les limites pratiques d'intensité. Si n est un peu grand, au niveau qu'il représente peuvent *passer* des électrons dont un très petit nombre seulement s'*arrêtent* ; l'intensité correspondante est trop faible pour être perçue.

$(n + s + \sigma)^{-2}$ est la limite de la série (valeur de ν pour $m = \infty$). C'est la plus élevée des fréquences, la plus courte des longueurs d'onde de la série.

La série la plus simple est celle de Balmer (hydrogène).

$$\nu = 2^{-2} - m^{-2} \qquad m = 3, 4, 5, \ldots$$

$$s = \sigma = p = \pi = 0$$

Elle est connue depuis 1885 ; la théorie atomique lui a seulement donné l'interprétation qu'elle attendait.

Pour donner une idée de l'exactitude avec laquelle la

formule représente le phénomène expérimental, voici en millionièmes de millimètre, les longueurs d'onde observées et calculées des sept premières raies, et les valeurs de m qui les définissent.

m	3	4	5	6	7	8	9
Observées	656,307	486,152	434,064	410,190	397,024	388,921	383,554
Calculées	656,304	486,149	434,066	410,190	397,025	388,921	383,553

On connaît plus de 40 autres raies de la série.

Pour l'hydrogène, $n = 1$ donne a série de Lyman, et $n = 3$ la série de Paschen. Toutes les raies connues de l'hydrogène appartiennent à l'une de ces trois séries.

Posons : $\nu = (2 + s + \sigma)^{-2} - (m + p)^{-2}$; $\pi = 0$

Le niveau d'arrivée est à 2 quanta h ; σ prend deux valeurs d'ailleurs voisines correspondant, l'une σ_1 au cercle 2_2, l'autre σ_2 à l'ellipse 2_1 (fig. 1, p. 86). p est, par hypothèse, fonction de m seulement. A une valeur unique de $m + p$ (niveau de départ) correspondent deux valeurs du premier terme ; d'où deux valeurs pour ν ; la raie est un *doublet* et la série une série de doublets.

Les composantes de ces doublets ont un écartement, mesuré en fréquences, constant dans toute la série, y compris la limite.

$$\Delta\nu = (2 + s + \sigma_1)^{-2} - (2 + s + \sigma_2)^{-2}$$

Le spectre du potassium fournit un exemple d'une série ainsi constituée (appelée série secondaire).

On aurait des triplets, des quadruplets, etc... si le niveau d'arrivée était à 3 h, 4 h... etc.

Posons :

$$\nu = (1 + s)^{-2} - (m + p + \pi)^{-2}$$

Le niveau m a seul un paramètre π fonction de l'excentricité : La première raie, $m = 2$, comporte deux valeurs pour π ; d'où un doublet ; la seconde, $m = 3$, comporte

trois valeurs : d'où un triplet, etc. A mesure que m augmente, la multiplicité des composantes croît. En même temps, l'écartement de ces composantes (mesuré en fréquences) diminue ; il s'annule pour m très grand ; la limite de la série est unique, égale à $(1 + s)^{-2}$. La série de Lyman relative à l'hydrogène est de ce type.

Posons le cas plus général :

$$\nu = (2+s+\sigma)^{-2} - (m+p+\pi)^{-2}$$

Les causes de dédoublement se multiplient. Deux orbites au niveau d'arrivée et trois au niveau de départ font de la première raie un sextuplet ou bien encore un doublet de triplets ; la seconde raie est un octuplet ou un doublet de quadruplets,... etc.

La série de l'hélium ionisé $n = 3$ débute par un triplet de quadruplets et se continue par triplets de quintuplets, triplets de sextuplets, etc.

A vrai dire, l'expérience prouve l'absence d'un certain nombre de composantes de ces multiplets. Pour certains, on peut attribuer cette absence apparente à un défaut d'intensité ; c'est une lacune regrettable dans la théorie de laisser arbitraire cette intensité. Pour d'autres, on a mis en avant un principe de sélection, mal défini d'ailleurs et malaisé à justifier, tendant à prouver qu'elles ne peuvent exister que dans des circonstances particulières.

La théorie, à ce sujet, présente bien des points obscurs, mais le succès très réel et très remarquable obtenu dans la classification d'un très grand nombre de raies permet d'espérer dans un avenir prochain des formules satisfaisantes.

Les séries spectrales ne sont pas seulement une formule algébrique représentant un phénomène expérimental grâce à l'introduction de *constantes arbitraires*. La constante H de l'équation (5) p. 84, *unique pour toutes les séries*, contient en facteur des éléments qui ne sont pas tous arbitraires. Il est vrai que h peut y être considéré comme défini par

l'équation même. auquel cas l'arbitraire est manifeste et la théorie ne représente l'expérience que qualitativement.

Mais les séries sont multiples. On en connaît plusieurs pour chacun des atomes. Or, *pour tous ces atomes,* la constante H se calcule à partir de leur charge positive respective E connue, *avec la même valeur de h.*

D'ailleurs, cette valeur unique de h est celle qu'on déduit d'autres expériences étrangères à l'analyse spectrale, par exemple, de l'étude du rayonnement total du corps noir [équation (2) p. 74].

L'analyse des séries spectrales confirme donc l'importance de la grandeur h définie par la théorie des quanta.

J'ai parlé de séries spectrales. Il s'agit évidemment du spectre lumineux dans lequel sont compris l'infra-rouge et l'ultra-violet. La série de Lyman pour l'hydrogène est tout entière dans l'ultra-violet ; la série de Paschen dans l'infra-rouge ; la série de Balmer débute dans le rouge et se termine dans l'ultra-violet.

Mais les rayons X fournissent aussi des spectres avec des raies caractéristiques du métal anticathode. Leurs longueurs d'onde sont plus courtes que l'ultra-violet ; les dernières mesures de Millikan se rapportent à des longueurs d'onde ultra-violettes de 13,7 μμ. On connaît des rayons X de même longueur d'onde. Il y a continuité entre le domaine X et le domaine dit lumineux.

En tout cas, pour les radiations X caractéristiques de l'anticathode on trouve des séries définies par les formules (8) p. 92, avec toutes les particularités qui découlent de la forme de l'équation et de la représentation adoptée : existence d'une limite de série ; dédoublement des raies en doublets, triplets.... et multiplication en doublets de triplets, doublets de quadruplets, etc.

De plus, l'expérience montre qu'il faut généralement faire intervenir le troisième quantum $I_3 = n_3 h$. Sur un même niveau on fera varier la somme $n = n_1 + n_2 + n_3$ de toutes manières possibles, par valeurs entières, en

maintenant toujours *non nuls* n_2 ou n_3. Le niveau K ($n = 1$) est à orbite unique ; mais le niveau suivant L ($n = 2$) comporte trois orbites, suivant qu'on annule n_1 ou n_2 ou n_3. Le niveau M en contient 6, le niveau N 10, etc.

Potentiels critiques

La formule $h\nu = W' - W$ contient, au second membre, une différence de potentiel, en donnant à ce mot le sens de sa définition mécanique : travail indépendant du chemin parcouru. En passant du niveau m au niveau n, le travail effectué $h\nu$ est la différence des énergies totales à ces niveaux.

En calculant l'énergie potentielle du niveau n, on a fait appel à la notion de *potentiel électrostatique*, introduit comme élément de calcul, mais qu'on ne saurait soumettre au contrôle de l'expérience.

Il est possible de faire intervenir le *potentiel électrodynamique* mesurable et de trouver dans sa mesure une confirmation des formules admises. La radiation ν dissipe l'énergie qu'a en excès l'électron mobile passant de l'orbite m à l'orbite n. Comment l'électron se trouve-t-il sur l'orbite m où n'est pas sa place normale ? En principe, dans l'atome qui est alors dit *normal*, tous les électrons doivent occuper la place disponible la plus proche du noyau. L'un d'eux n'abandonne une position de ce genre qu'après expulsion violente, par un agent extérieur au système, agent porteur d'une énergie équivalente à celle que dépense l'électron expulsé. Le type de ces agents est le corpuscule cathodique. Accéléré par le champ électrique $\frac{V-V'}{l}$ qui règne entre le début et la fin de son parcours l, il reçoit une énergie $(V-V')e$. e est la charge d'un électron, l'unité de quantité d'électricité négative, le premier des quanta introduits dans les théories physiques.

Admettre :

$$(V - V)e = h\nu \qquad (9)$$

c'est admettre que toute l'énergie du corpuscule est employée à chasser l'électron atomique de l'orbite qu'il occupait ; que, d'autre part, le retour à l'orbite primitive restitue intégralement au milieu l'énergie absorbée ; l'électron transmet au milieu, sous forme de radiation, l'énergie qu'il reçoit par le choc du corpuscule.

La formule (9) est vérifiée. Les potentiels qu'elle définit sont dits *potentiels critiques*. Ils sont, à priori, en nombre égal au nombre de radiations caractéristiques ν, c'est-à-dire en nombre infini. Il s'agit de savoir ce qu'ils représentent et dans quelles conditions leur caractère critique est décelable.

Potentiels d'ionisation

Le plus important de tous est le potentiel *d'ionisation*. Un atome est transformé en ion lorsqu'il a cessé d'être électriquement neutre, lorsqu'il a perdu (au moins) un électron. Cela veut dire, dans notre théorie, qu'un électron a été expulsé de l'orbite n jusqu'à l'infini ; pratiquement jusqu'à la distance où l'action du noyau est sensiblement nulle. Quand il réintégrera son niveau, il émettra la radiation ν correspondante qui est la limite de la série

$$\nu = (n + s + \sigma)^{-2}$$

Malheureusement, les limites de série ne sont pas observables au moins comme raies d'émission. On tourne la difficulté dans le domaine X en renversant les spectres par absorption, méthode très sensible et très féconde.

Un faisceau homogène et dispersé des rayons X (pris dans le spectre continu non caractéristique et avec un tube assez dur) traverse une feuille mince du métal à étudier, d'argent par exemple. Le spectre transmis présente des variations brusques d'intensité ou *disconti-*

nuités qui correspondent exactement aux limites des séries qu'émettrait une anticathode d'argent. Le pouvoir absorbant de l'argent pour les raies qu'il peut émettre croît jusqu'à la fréquence limite de série où il a teint sa valeur maxima. Pour une fréquence légèrement supérieure (les limites de série sont toujours du côté des fréquences croissantes), l'argent ne peut rien émettre ; il n'absorbe pas : d'où la *brusque* variation.

Si la limite est double, triple,... la discontinuité d'absorption est aussi double, triple...

Le contrôle de la théorie des quanta se fait de la manière suivante. Les fréquences limites ayant été déterminées pour l'argent par absorption, on détermine, par émission, le potentiel *minimum* V-V' appliqué entre anode et cathode pour lequel commencent à apparaître les raies caractéristiques.

Ce minimum vérifie la relation

$$(V - V')\, e = h\nu_{.}$$

Aucune raie de la série n'est visible tant que le potentiel est inférieur au minimum correspondant à la limite. Dès que ce minimum est atteint, toutes les raies de la série paraissent simultanément.

L'interprétation de cette simultanéité est un des succès de la théorie atomique. Les rayons X correspondent aux déplacements des électrons expulsés des niveaux proches du noyau. Dans les atomes lourds, sources de rayons X, il y a un grand nombre d'électrons occupant des niveaux superposés à partir du premier, sans qu'il existe entre eux et le noyau de place disponible (l'atome d'Uranium a 92 électrons disposés sur sept niveaux). Un électron ne peut être jeté hors du premier niveau s'il n'est capable de traverser toute la couche de corpuscules de même signe électrique que lui. C'est pratiquement sortir hors de l'atome, d'où l'ionisation. D'ailleurs, dès que un ou plusieurs électrons ont été ainsi expulsés, leur place devenue

disponible est occupée par des électrons voisins dont la place sera à son tour occupée par d'autres ; d'où l'apparition *simultanée* des divers termes de la série.

Il ne faut pas garder d'illusion sur la valeur de cette explication. Elle vaudrait absolument si les orbites étaient toutes circulaires ; elle vaut de moins en moins à mesure qu'on a affaire à des ellipses plus excentriques. Sur l'ellipse 4_1 de la figure 1 p. 86, par exemple, l'électron à quatre quanta *h* passant en A est plus proche du noyau que les électrons gravitant sur les cercles 2_2 et 3_3. Inversement, l'électron à 3 quanta *h* qui passe en B sera, à un certain moment de sa course, hors du cercle 4_4.

Mais la distance au noyau n'est pas seule à considérer. Il ne s'agit pas de surmonter une action électrostatique ; il s'agit de troubler un mouvement existant ; c'est donc la vitesse de l'électron qu'il faut mesurer à l'instant où il subit le choc. Or, la vitesse de l'électron C à 3 quanta *h* est plus faible que la vitesse de l'électron D à quatre quanta. Il devrait, semble-t-il, être plus aisément expulsé.

Ainsi la notion d'électrons intérieurs et extérieurs ne peut pas se justifier d'une façon rigoureuse. Il faut généraliser cette notion et appeler extérieurs les électrons qui, *pendant la plus grande partie de la durée* de leur parcours, sont plus éloignés du noyau. Pour eux, la probabilité d'un choc ionisant est maxima. En une de leurs positions telles que E, leur vitesse est très faible et ils peuvent être aisément expulsés.

Il y a autant de séries que de niveaux. On peut donc, en choisissant convenablement les potentiels appliqués à un tube, produire certaines raies X à l'exclusion d'autres ; on peut, inversement, par ces potentiels caractériser la série à laquelle appartiennent des raies déterminées.

Dans le spectre lumineux, l'absorption ne manifeste pas de discontinuités aux limites de série. On en est réduit à calculer ces limites par les formules. Le contrôle de l'équation (9) consiste à vérifier si les valeurs de V—V'

qu'on en déduit sont marquées par l'apparition ou en général par une *brusque variation* de l'ionisation. L'expérience est apparemment facile sur des gaz dont on sait mesurer la conductibilité. Les vapeurs des métaux alcalins et alcalino-terreux fournissent une bonne vérification des formules, comme le montre le tableau suivant :

Atome	Na.	K.	Rb.	Cs.	Be.	Ca.	Zn.	Cd.	Hg.
Potentiel calculé	5,12	4.32	4,16	3,88	7,61	6,09	9,35	8,96	10,3
Potentiel observé	5,13	4,1	4,1	3.9	7,75	6,01	9.3	9,82	10,2

Pour l'hydrogène, la vérification laisse à désirer. On trouve 16 volts au lieu de 13,5 que suppose la théorie. L'écart est d'autant plus regrettable qu'aucune hésitation n'est possible sur la constitution de cet atome ; l'électron unique ne peut décrire que l'une des ellipses de la théorie.

Pour des atomes plus complexes, azote, hélium, oxygène, les écarts peuvent s'expliquer par des arrangements particuliers des orbites ; ainsi se manifeste l'existence de deux variétés d'hélium dont l'une possède et conserve ses deux électrons sur des orbites coplanaires, l'autre les maintient dans deux plans différents. Pour des atomes à nombreux électrons, on ne sait à peu près rien sur l'arrangement probable des orbites. L'étude des potentiels critiques, surtout des potentiels d'ionisation, doit servir à le déterminer.

Une difficulté des expériences vient de ce que des causes autres que l'ionisation proprement dite peuvent modifier la conductibilité ; par exemple : la photoélectricité, la phosphorescence.

Enfin, il faut distinguer les ionisations multiples, cumulatives, successives, moléculaires.

Un niveau quelconque, occupé par des électrons, peut fournir une série et donc une limite de série et une ionisation.

Bien plus, comme le montre la figure 1 p. 86, les niveaux contiennent plusieurs orbites d'ellipticité différente à

énergie totale légèrement variable. Suivant que les électrons sont expulsés de l'une ou de l'autre orbite, de l'un ou de l'autre niveau, des énergies ionisantes différentes sont requises ; d'où *multiplicité* des potentiels d'ionisation.

Le moins élevé correspond à l'expulsion de l'orbite de grand axe maximum et, pour un même grand axe, à l'ellipse la plus excentrique.

Les ionisations cumulatives, envisagées par les auteurs, n'introduisent aucune notion nouvelle ; elles expliquent seulement comment, par des chocs corpusculaires incapables d'ioniser, un électron atomique peut être amené sur une orbite de numéro plus grand, d'où il pourra, ultérieurement, comme nous venons de le voir, être plus aisément rejeté hors de l'atome.

On appelle excités les atomes dont les différents électrons occupent des niveaux non consécutifs ; dans l'atome normal, du premier au n^e niveau occupé par le dernier électron, il n'y a aucune place disponible.

A ces diverses ionisations on rattache l'entretien d'un arc électrique dans l'hélium sous des potentiels très faibles pourvu qu'il y ait été *amorcé* à un potentiel assez élevé (amorçage à 20 volts, entretien sous 8 volts).

L'atome ionisé peut subir un nouveau choc ionisant et perdre un nouvel électron (ionisations successives). Plus généralement, il peut émettre des séries qui lui sont propres ; dans la constante H de la formule (5) p. 84, E doit être augmenté d'une fois *e*. Les radiations de ces ions ont toutes les propriétés des séries, y compris une limite.

On connaît bien la série de l'hélium ionisé, et sa limite (double ionisation). Autrefois attribuée à l'hydrogène, cette série a été rattachée à sa véritable origine par la théorie atomique. L'erreur première s'explique par l'analogie de structure des deux radiateurs qui diffèrent seulement par la charge positive du noyau (l'hélium *ionisé* n'a qu'un électron satellite comme l'hydrogène, mais la

charge de son noyau est triple de celle du noyau d'hydrogène).

On peut considérer un atome deux fois ionisé. On connaît une série de l'atome de lithium privé de deux électrons.

Toutes ces propriétés déduites de la théorie sont confirmées par l'expérience : le mercure a son premier potentiel d'ionisation à 10,4 volts ; à 20 volts, un deuxième électron est expulsé.

Aux spectres des atomes ionisés se rapportent les « Grundspectra » (raies fondamentales) de Goldstein, les « enhanced lines » (raies renforcées) de Lockyer, et aussi vraisemblablement les spectres dits d'étincelle.

Quant aux spectres d'arc, d'induction, ou même de flamme, la théorie est loin d'en donner une classification satisfaisante. Ces expressions désignent un mode d'obtention de radiations ; elles ne caractérisent pas des spectres particuliers. Il doit y avoir variation continue entre les spectres de flamme, d'arc, d'étincelle, d'induction. L'étude de cette variation peut être féconde pour les développements de la théorie : il ne semble pas qu'elle puisse aboutir à établir une distinction spécifique entre les radiations ainsi désignées.

L'électron peut être arraché à un atome isolé ou à une molécule composée de deux ou plusieurs atomes. Le champ d'attraction n'est pas le même dans l'un et l'autre cas. Pour l'hydrogène, une molécule ionisée est représentée par deux noyaux positifs autour desquels gravite un électron unique.

Malheureusement, nous sommes très peu renseignés sur les configurations admissibles pour les molécules, même pour la plus simple de toutes, celles de l'hydrogène. Il n'est donc pas possible actuellement d'écrire une relation $W - W' = h\nu$. On en est réduit, connaissant les dépenses d'énergie requises pour *dissocier* et *ioniser* la molécule et appliquant les principes de thermodynamique, à chercher les modèles qui représentent le mieux possible l'expérience.

Tout reste à faire dans cette voie ; les cas que n'explique pas la théorie de l'atome sont attribués à la molécule. De là pas mal d'arbitraire.

Potentiels d'excitation, de radiation

Le principe des quanta va plus loin ; il s'applique non seulement à la limite, mais encore à chacun des termes de la série.

Dans le domaine X caractéristique, l'équation

$$(V - V)e = h\nu$$

n'est vérifiable que pour la limite et par absorption.

Toutefois, on peut filtrer les radiations par des écrans convenables et obtenir la vérification pour la fréquence ν d'*intensité maxima* rendue ainsi à peu près monochromatique.

Mais le domaine X comprend, outre les radiations caractéristiques, un spectre *continu non caractéristique de l'anticathode.* Dans les spectrogrammes où les raies caractéristiques sont marquées en noir intense, le spectre continu se manifeste par un léger voile général d'un noir très lentement variable.

Ce voile se termine *brusquement* du côté des courtes longueurs d'onde, sur une fréquence qui *croît proportionnellement au potentiel appliqué.* Il est remarquable que cette fréquence limite soit donnée très exactement par la formule ci-dessus où h reçoit la valeur $6{,}55\ 10^{-27}$ établie d'autre part.

Faire progresser la limite du spectre continu, par application de potentiels croissants, revient à appliquer l'équation (9) p. 98 à chacune des radiations du spectre continu, que le phénomène permet ainsi de repérer très exactement.

Dans le domaine lumineux, l'excitation de radiations par potentiel ou champs électriques est possible et devient un précieux moyen de contrôle. Des mesures très précises

ont été obtenues pour la vapeur de mercure placée entre deux électrodes portées à des potentiels croissants.

Le tableau suivant donne, en millionièmes de mm., les longueurs d'onde émises par cette vapeur et, en volts, les potentiels d'excitation observés et calculés par la formule (9).

Long. d'onde	265,6	253,7	232,9	227,1	215,0	184,9	160,4	143,6	140,3
Potent. observ.	4,68	4,9	5,32	5,47	5,76	6,73	7,73	8,64	8,86
Potent. calc.	4,66	4,86	5,3	5,43	5,73	6,67	7,69	8,58	8,79

Encore ici se rencontrent de grosses difficultés. Des phénomènes interviennent qu'on ne peut rattacher à une émission de radiation. Le nombre des valeurs critiques du potentiel est en réalité plus grand que le nombre des raies à expliquer, du moins des raies le plus fréquemment obtenues.

Le tableau ci-dessus montre que les raies étudiées appartiennent à l'ultra-violet. La méthode la plus sensible mise en avant par les auteurs pour déceler ces radiations est basée sur la photoélectricité dont il va être question tout à l'heure. Tous les phénomènes d'ionisation soit atomique, soit moléculaire, interviennent dans les effets à mesurer, ainsi que les émissions par fluorescence ou résonance. L'accord constaté entre la théorie et l'expérience suppose, en même temps que des appareils sensibles, une discussion très serrée des conditions de l'expérience.

Photoélectricité

Un corps solide (ou même gazeux), frappé par des radiations ultraviolettes, émet des électrons dont le nombre, par unité de surface irradiée, dépend de l'intensité et dont la vitesse U dépend de la fréquence de la radiation incidente.

μ étant la masse de l'électron projeté, on a :

$$\mu U^2 = 2h(\nu - \nu_0) = 2(V - V')e$$

ν_0 est une fréquence limite au-dessous de laquelle l'effet photoélectrique n'a plus lieu, et qui caractérise chaque substance (μ et h sont des constantes absolues).

On mesure U en arrêtant les électrons projetés au moyen d'un champ électrique antagoniste V — V', d'où le troisième membre de l'équation.

C'est encore une application de la théorie des quanta, à ceci près que le terme $h\nu_0$ doit être introduit comme correctif. Il s'interprète comme travail nécessaire pour *extraire* l'électron, pour lui faire franchir l'intervalle qui sépare la substance émettrice du milieu ambiant. A ce passage s'opposent les forces électromotrices dites de contact qui, pour l'ultraviolet, sont du même ordre que V — V'.

Dans une lampe à filament grille et plaque, l'émission d'électrons par la plaque irradiée modifie le courant plaque grille. Une lampe de ce genre contenant un résidu de vapeurs de sodium, par exemple, décèlera, par les variations du courant plaque grille, les radiations ultraviolettes émises par l'atome de sodium. C'est une des méthodes employées pour mesurer les potentiels d'excitation ou de résonance.

La réciproque de l'effet photoélectrique se trouve dans le domaine X où le phénomène inverse se produit. Les électrons accélérés par le champ anode-cathode sont brusquement arrêtés par l'anticathode de laquelle émane un flux radiant vibratoire de haute fréquence. La même équation régit le phénomène que nous avons analysé plus haut. Toutefois, le terme $h\nu_0$ est absent. Plus exactement, il y est négligé et négligeable ; les forces électromotrices de contact sont à l'ordre du volt, les potentiels appliqués aux tubes à rayons X se chiffrent par dizaines et centaines de kilovolts.

Les effets photochimiques paraissent dus à l'effet photoélectrique et obéissent vraisemblablement à la même

loi de quantification. Les mesures connues à ce jour sont peu nombreuses et assez discordantes.

Potentiels de résonance

Strictement parlant, une radiation de résonance est émise par une substance qui absorbe *une radiation de même fréquence* venant d'une source extérieure. L'excitation a pour origine unique cette absorption. Aucun champ électrique n'intervient, si ce n'est le champ électromagnétique variable dont la propagation constitue la radiation lumineuse incidente. Il s'agit d'une raie et non d'un spectre ; le champ de résonance est limité à des fréquences assez voisines pour qu'on puisse parler d'une radiation simple.

Le mercure résonne bien à la radiation $\lambda = 253,7$ μμ, radiation qui, dans ce cas, constitue à elle seule tout *le spectre.*

Le cas du sodium est plus complexe ; la raie 330,3 μμ excite par résonance la même raie 330,3 et aussi la raie D. (589,0) ; si on prend pour faisceau excitant l'une des raies D, 589,0 par exemple, le faisceau excitéé met généralement les deux raies D 589,0 et 589,6. La résonance est pure et la seule raie incidente est excitée lorsque la pression de vapeur est très faible ; c'est-à-dire quand on opère à basse température.

Ces deux exemples sont les mieux connus et caractérisés. D'autre part, le domaine X n'en fournit aucun On est donc amené à assigner le rôle d'émetteurs par résonance aux électrons les plus extérieurs qui sont les plus aisés à mobiliser. En y ajoutant les deux conditions supplémentaires : un va-et-vient des mêmes électrons entre deux niveaux *voisins* (différant *d'un seul* quantum h) et une raréfaction suffisante, on explique le modes pécial d'émission expérimentalement constaté.

La formule des quanta se vérifie parfaitement, puis-

qu'elle se vérifie pour la radiation excitatrice. Les potentiels dits de résonance se calculent très exactement par la formule (9).

Pour les besoins de la cause, on envisage souvent des potentiels de résonance dont la définition est loin d'être satisfaisante. N'oublions pas que la théorie ne date guère que de dix ans. Il y a grand intérêt à grouper sous une même rubrique tous les phénomènes connus antérieurement, mais restés isolés faute de connaître un principe de classement.

Voilà pourquoi j'aime à conserver les radiations de résonance, mais je voudrais classer parmi elles ce qu'on appelle les raies uniques ou doubles, les raies ultimes, les raies renforcées.

Parmi les spectres à raie *unique* (single line spectrum), on cite principalement celui du mercure ($\lambda = 2537$), et parmi les spectres à *deux* raies, celui du sodium. L'un et l'autre peuvent être obtenus par résonance, et les conditions d'obtention sont bien celles de la résonance, à savoir une faible pression de vapeur.

A vrai dire, la résonance suppose que l'électron radiant reçoit l'énergie d'un faisceau incident de même nature, tandis que dans ce qu'on appelle spectres à raie unique ou à raie double, l'excitation est d'origine thermique. Mais les mécanismes de l'une et de l'autre absorption nous sont parfaitement inconnus. Il nous est loisible de supposer dans une flamme tout ce qui justifie l'expression de résonance.

Les raies dites *ultimes* sont celles qui caractérisent un atome dans une substance qui le contient à dose minime. C'est grâce aux raies ultimes que la spectroscopie est une méthode très sensible d'analyse chimique.

On arrive à déceler du magnésium dans du zinc qui en contient un dix-milliardième. Parmi les raies dites ultimes nous trouvons encore la raie unique du mercure 2537 et les deux raies du sodium. Pour cet élément, il est

vrai, on ajoute la raie 3302 ; mais c'est précisément une de celles qui donnent une émission par résonance caractérisée.

Foote et Mohler font remarquer d'une part que toute raie de résonance suppose l'absorption préalable de l'énergie à émettre, d'autre part que l'absorption d'énergie n'est proportionnelle au nombre d'atomes absorbants que lorsque ceux-ci sont en très petit nombre par cm^3. Pour un nombre un peu grand (et il est formidable pour la vapeur d'un métal pur à température pas trop basse), le pouvoir absorbant tend assez rapidement vers un état de saturation.

Quand on produit un arc électrique entre bâtons de zinc contenant des traces de magnésium, l'état de saturation est atteint pour les atomes de zinc ; il ne l'est pas pour les atomes de magnésium. Il en résulte que le rapport des intensités des raies émises par l'impureté aux intensités des raies émises par le zinc est très supérieur au rapport des nombres de leurs atomes par cm^3. D'où une intensité réduite mais appréciable des raies de l'impureté.

D'ailleurs, l'énergie que doit absorber le magnésium lui est apportée non seulement par ses propres électrons, mais par les électrons du zinc. Ces corpuscules n'ont rien de spécifique et sont aisément échangés par les atomes.

Action des champs électrique et magnétique

Un champ électrique ou un champ magnétique intenses doivent modifier les orbites électroniques. Du fait de ces champs, une nouvelle répartition de l'énergie sur les niveaux atomiques est à envisager.

La théorie de Bohr et Sommerfeld a établi cette répartition. Il ne m'est pas possible de l'expliquer ici avec assez de détails pour faire saisir à la fois la complexité du problème et la valeur de la solution qui en a été donnée.

En particulier, des 16 composantes en lesquelles, par

effet Stark (champ électrique), la raie Hδ de l'hydrogène est dédoublée, la théorie en explique au moins 14, indiquant avec une bonne approximation leurs distances respectives, leurs intensités relatives et leur polarisation soit lorsque le champ est parallèle aux rayons lumineux, soit lorsqu'il leur est perpendiculaire (1).

Même succès dans l'explication de l'effet Zeeman (nombre, distance, intensité et polarisation des composantes pour un champ magnétique parallèle et perpendiculaire au sens de propagation de la lumière).

Spectres de bandes (de rotation)

Dans ce qui précède, la radiation est attribuée uniquement à l'atome. On observe le même spectre dans toutes les combinaisons de l'atome avec n'importe lequel des autres éléments. Pour un corps simple, le mercure par exemple, on l étudie dans les conditions pour lesquelles la molécule est monoatomique ou bien dissociée.

Mais toutes les radiations observées ne rentrent pas dans la classification établie. En particulier, il existe des spectres dits de *bandes*, comprenant un très grand nombre de raies plus ou moins aisément résolubles, réunies en groupes apparemment continus qui justifient l'appellation.

On les attribue à la molécule, assemblage d'atomes. On les appelle aussi *spectres de rotation*, parce qu'on les explique par le mouvement de rotation de la molécule sur elle-même.

L'atome n'a de masse appréciable que dans son noyau, dont le volume est d'ailleurs, par hypothèse, extrêmement petit par rapport au volume total de l'ensemble. Il n'y a pas lieu pour lui, de parler de mouvement giratoire. Le moment d'inertie pour ce mouvement ne peut être

(1) Léon Brillouin, *La théorie des quanta et l'atome de Bohr*, p. 120.

que négligeable ; de plus, à moins d'expliciter la constitution du noyau plus clairement que ne la donne la théorie actuelle, on ne peut trouver aucune droite privilégiée jouant le rôle d'axe de rotation éventuel.

Il n'en va plus de même avec la molécule assemblage d'atomes dont les noyaux sont autant éloignés les uns des autres qu'ils le sont eux-mêmes de leurs satellites. Pour elle, il y a un ellipsoïde et des axes principaux d'inertie. Si elle est diatomique (H^2, N^2, HCl, CO), le moment d'inertie nul pour la direction qui joint les deux noyaux est maximum pour toutes les directions perpendiculaires.

En se limitant à ces molécules diatomiques, et en considérant d'abord comme invariable la distance des noyaux positifs (d'où une valeur constante du moment maximum I et de la rotation ω autour de l'axe principal correspondant), on introduit un nouveau quantum fonction de I et de ω :

$$\int_0^\tau I\omega^2 dt = mh = I\omega \int_0^\tau \omega dt = 2\pi I\omega$$

m est un nombre entier, l'intégrale représente une action.

Reprenant les calculs déjà effectués pour le cas de l'atome, on exprime, *pour ce mouvement de rotation*, l'énergie totale U en fonction de l'énergie cinétique moyenne :

$$U = I\frac{\omega^2}{2} = \frac{m^2h^2}{8\pi^2 I}.$$

D'où : $$U - U' = \frac{h^2}{8\pi^2 I}(m^2 - m'^2) = h\nu ; \qquad (10)$$

m et m' sont des entiers quelconques.

Cette dernière équation ne tient compte que de l'énergie cinétique due à la rotation supposée *constante*. Quand elle est vérifiée, le spectre est dit de *rotation pure*. On la complète en introduisant des termes relatifs à la variation de distance des noyaux, énergie dite de vibration.

Le moment d'inertie et la vitesse varient alors simultanément. Le nombre de termes dont dépend U'—U augmente ; la formule devient rapidement compliquée et son développement ne saurait trouver place ici. Elle a d'ailleurs été donnée par Deslandres avant tout essai de justification par la théorie des quanta.

Mais la formule (10) valable pour les raies dites de *rotation pure* est remarquable en ce que v est proportionnel d'une part à $m' - m'^2$ (pour l'atome la proportionnalité existe avec $1/m^2 - 1/m'^2$), d'autre part à l'inverse du moment d'inertie I.

I peut donc être déterminé par la formule (10) où tout est connu ou mesurable. C'est un élément précieux de nos connaissances relatives à la constitution de la matière. Il doit être contrôlé par d'autres données, en particulier par les résultats que fournit la méthode de Bragg pour la détermination des réseaux cristallins.

Victor Henri a pu déterminer le moment d'inertie de la molécule de benzène et vérifier que l'ellipsoïde d'inertie est une sphère, ce qui insinue la forme octaèdre régulier dont chaque groupe CH occupe un sommet. On connaît de nombreux autres moments d'inertie.

Conclusion

La théorie des quanta fournit donc un principe de classification extrêmement fécond pour les radiations de toutes sortes et les divers dédoublements qu'elles subissent.

Par cette théorie, la spectroscopie est renouvelée. Une raieq u'un observateur découvre n'est plus, à proprement parler, une acquisition de la science. Elle appartient à une série connue ou bien elle est satellite dans un groupe connu. Le mérite du chercheur qui la signale est d'avoir su mettre en œuvre les moyens propres à l'exciter avec une intensité suffisante ou à la séparer des raies voisines. Le

travail d'identification ne va pas d'ailleurs sans difficultés ; il exige souvent la détermination des longueurs d'onde à une petite fraction de μμ près.

Nous devons à la théorie des quanta, en même temps que le grand nombre de chercheurs occupés à la vérifier, le perfectionnement remarquable de la technique spectroscopique actuelle.

Si, pour jouir de ces avantages, nous devons admettre des *quantifications* bizarres et des *privilèges orbitaux* invraisemblables, ne rechignons pas trop. Dans l'éther classique nous admettons des propriétés dont la coexistence n'est pas plus vraisemblable. Il nous suffit que ces propriétés ne soient pas la *négation* l'une de l'autre, n'impliquent pas contradiction. Ne soyons pas plus exigeants pour les quanta.

Des quantistes à outrance veulent isoler dans l'espace le quantum d'énergie $h\nu$ sous forme d'un train d'ondes *extrêmement court* se propageant indépendamment de tous les autres. C'est le retour à la théorie de l'émission, avec l'impossibilité d'expliquer les phénomènes d'interférence et de diffraction ordonnés en un système très cohérent par la théorie classique des ondulations (1).

Cette discontinuité de l'énergie radiante ne s'impose pas. Il y a sur un corps noir ou dans un volume gazeux radiants, quelque faibles dimensions qu'on leur suppose, un nombre suffisamment grand d'émetteurs d'énergie pour que, à chaque instant, dans une direction donnée, un train continu existe, caractérisé par une période et une phase parfaitement déterminées au moins pendant un certain temps. L'excitation ou le retour au repos d'un émetteur changent assurément la phase du train. Mais ces perturbations de phase furent admises longtemps avant la théorie des quanta. Il suffit de les supposer assez espacées

(1) Voir H. Bouasse et Z. Carrière : *Interférences*, 1 vol., 460 p.; *Diffraction*, 1 vol., 480 p.

dans le temps pour expliquer les interférences à très grande différence de marche. Le train transportant l'énergie $h\nu$ doit être supposé assez long ; toute prétention de le raccourcir démesurément, au-dessous d'un mètre, par exemple, se heurterait à une opposition irréductible des physiciens (1).

Z. Carrière,
Professeur à l'Institut Catholique de Toulouse.

(1) Principaux ouvrages consultés :
Journal de Physique.
Sommerfeld : *Atombau und Spectrallinien.*
Léon Brillouin : *La théorie des quanta et l'atome de Bohr.*
de Broglie : *Les rayons X.*
Foote and Mohler : *The origin of Spectra.*
Mc. C. Lewis : *Traité de Chimie physique*, tome III.

L'incomparable réaction

L'assimilation du carbone par les plantes vertes

Au dix-septième siècle, on pouvait encore se demander où les plantes puisent les substances qui entrent dans leur constitution. Pour résoudre ce problème, le belge Van Helmont (1577-1644), à la fois médecin et chimiste, imagina l'expérience suivante : dans un pot de terre du poids de deux cents livres, il planta une branche de saule pesant cinq livres et arrosa avec de l'eau de pluie. Cinq ans après, il déracina l'arbre et le pesa ; l'augmentation était de cent cinquante-neuf livres. Le poids de la terre, pensait notre homme, aura diminué d'autant.... Stupéfaction ! Il retrouva, à deux onces près, ses deux cents livres de terre. Il en conclut, sans hésiter, que les plantes tirent leur nourriture de l'eau de pluie uniquement. Pas un instant, il n'eut l'idée de s'enquérir si l'eau renferme tous les éléments qui se retrouvent dans une plante. Comment ce scrupule lui fût-il venu dans l'ignorance où l'on était alors de la cons itution des corps ? Le cours de chimie le plus répandu, celui de Nicolas Lémery, ne contenait-il pas encore la doctrine révélée par Geber aux alchimistes d'Occident ? « Les chimistes, dit Lémery, en faisant l'analyse des divers mixtes, ont trouvé cinq principes des choses naturelles, l'eau, l'esprit, l'huile, le sel et la terre ; l'esprit qu'on appelle mercure..., l'huile qu'on appelle soufre..., l'eau qu'on appelle phlegme,... la terre qu'on appelle terre morte ou damnée. »

Mais l'heure des belles découvertes est bien près de sonner ; voici venir les grands initiateurs : Priestley, Scheele, Lavoisier. Joseph Priestley entre en scène le premier. Ce pasteur, plus habile à découvrir des faits nouveaux qu'à les interpréter, multipliait les expériences avec une facilité prodigieuse. En calcinant le précipité « *per se* », produit rouge qui se forme quand on chauffe le mercure vers 350°, au contact de l'air, il venait d'obtenir un gaz qu'il appela « *air très pur* », « *air déphlogistiqué* » et qui n'était autre que l'oxygène. Cet air était propre à entretenir la vie des animaux, mais ceux-ci ne tardaient pas à le vicier, de sorte qu'enfermés dans un espace hermétiquement clos et primitivement rempli d'air déphlogistiqué, ils finissaient par succomber. C'est en cherchant le moyen de régénérer l'air ainsi corrompu que Priestley eut l'heureuse idée (1772) d'introduire une plante dans l'enceinte. Résultat inespéré ! après quelques heures, l'atmosphère était de nouveau respirable. Malheureusement, l'expérience ne réussissait pas toujours : tantôt l'air était régénéré, tantôt il restait vicié. Quelques années plus tard (1779) le physicien Ingenhouz montra que la régénération de l'air ne se faisait que par les parties vertes des plantes et seulement au soleil. C'était là tout ce qu'il était possible alors d'apercevoir ; pour quelle raison les animaux corrompent-ils l'air très pur tandis que les végétaux le revivifient, nul n'aurait su le dire ; on ignorait la nature des gaz que l'on appelait *mophète, air fixe, air déphlogistiqué ;* il fallait attendre que Lavoisier eût renversé la théorie du phlogistique pour lui substituer le système français basé sur les propriétés de l'air vital ou oxygène. Dès lors, la voie était ouverte. Le traité de physiologie végétale de Sénebier, publié à Genève en 1800, contient un chapitre « sur l'application des principes de la nouvelle chimie à la théorie végétale ».

L'auteur démontre que « la lumière tire le gaz oxygène hors des plantes » et que « le gaz carbonique est la source

de ce gaz oxygène ». Théodore de Saussure s'appliqua, vers la même époque, à la mesure des échanges gazeux et trouva que le volume d'oxygène dégagé est sensiblement égal au volume d'acide carbonique absorbé. Il voyait d'ailleurs, dans ces échanges, autre chose qu'un simple mécanisme approprié à la purification de l'atmosphère; d'après lui, c'était là, pour les végétaux, un mode de nutrition.

Boussingault reprit la question dans son ensemble et confirma la plupart des résultats signalés par les précédents auteurs. Restait à résoudre un point particulièrement délicat. Dans toutes les expériences antérieures, on avait placé les plantes vertes dans des milieux, air ou eau, enrichis en anhydride carbonique ; or, l'atmosphère, Boussingault lui-même venait d'en faire la preuve, ne renferme normalement qu'une infime proportion de ce gaz, trois à quatre dix-millièmes en volume. Les plantes sont-elles capables de s'emparer d'une aussi petite quantité de CO^2, si faible qu'elle échappe aux réactifs les plus sensibles ? On ne pouvait rester dans l'incertitude à ce sujet ; le problème de la nutrition carbonée des végétaux était en jeu. Effrayé par les difficultés d'une telle entreprise, Boussingault fit appel à son collègue Dumas, étant bien entendu que chacun d'eux opérerait pour son propre compte. Tout d'abord, tout marchait à merveille ; l'air en passant sur les plantes ensoleillées abandonnait le peu d'acide carbonique qu'il contient. Puis, tout à coup, le tableau changea. Les plantes devinrent capricieuses et, au lieu de décomposer l'acide carbonique, elles commencèrent à en dégager. Tout perplexes, raconte le grand agronome, nous notions chaque soir les résultats obtenus, jetant l'un sur l'autre des regards d'interrogation. Involontairement, chacun se souvenait de la déception mémorable de Priestley le jour où il voulut répéter son expérience. Il en fut ainsi pendant plusieurs jours. Enfin, un beau matin, Regnault, l'illustre physicien, qui nous

observait attentivement, en voyant nos mines allongées, éclata d'un fou rire et nous avoua qu'il était la cause de notre déconvenue. Tous les jours, pendant que nous nous absentions pour le déjeuner, il s'approchait de l'appareil et soufflait un peu dedans ; « afin de me rendre compte, dit-il, si vous ne faites pas de charlatanisme et si vous pouvez réellement évaluer des quantités d'acide carbonique aussi minimes ».

Il était donc établi que les plantes vertes, à la lumière, s'emparent de l'anhydride carbonique présent dans l'atmosphère, assimilent le carbone et rejettent l'oxygène. Cette donnée de premier ordre est définitive ; elle n'a pas varié depuis un siècle.

La dissociation du gaz carbonique en oxyde de carbone et oxygène est une réaction très endothermique ; l'oxyde de carbone, à son tour, ne peut être décomposé en ses éléments sans une dépense considérable d'énergie. La quantité de chaleur nécessaire à la dissociation complète du gaz carbonique équivaut à celle qui est dégagée lors de la combustion du carbone

$$C + O^2 = CO^2 + 97 \text{ calories ;}$$

pour prendre à l'atmosphère 12 grammes de carbone, la plante doit mettre en jeu l'énergie correspondant à 97 calories ; c'est approximativement ce qu'il faut fournir à 1 kilogramme d'eau pour le porter de 0° à 100°.

Où la cellule verte puise-t-elle cette énergie ? Les réactions de combustion dont l'ensemble constitue le phénomène de la respiration n'en produisent qu'une faible partie. Le fait que les plantes vertes n'opèrent la dissociation du gaz carbonique qu'à la lumière indique suffisamment que c'est aux *radiations lumineuses* qu'est empruntée, en partie du moins, l'énergie nécessaire.

Le soleil déverse sur le globe une quantité énorme de chaleur. Presque toute l'énergie actuellement disponible sur la terre provient du soleil. C'est à l'énergie solaire,

en définitive, que doivent être rapportées, comme à leur principe, la force motrice de l'eau et celle du vent, puisque le rayonnement solaire est la cause de l'évaporation des eaux aussi bien que des mouvements de l'atmosphère (1). La constante solaire, c'est-à-dire la quantité d'énergie reçue, aux confins de la couche atmosphérique, par centimètre carré et par minute, a une valeur moyenne de 2 petites calories ; supposons que la moitié seulement du rayonnement parvienne au sol, une petite calorie par centimètre carré ou cent millions de petites calories par hectare ; il faudrait environ 12 kilos de bon charbon pour obtenir une telle somme de chaleur. En admettant une durée moyenne d'insolation de 4 à 5 heures par jour, on trouve que le soleil fournit chaque année à la terre, par hectare, une quantité de chaleur qui équivaut à 1300 tonnes de charbon ; cela fait, pour la totalité de la superficie terrestre, $6.631.066 \times 10^7$ tonnes ; l'extraction mondiale n'atteignait, en 1914, que 134×10^7 tonnes.

Si le soleil est une source inépuisable de chaleur, cette énergie, malheureusement, se trouve répartie à la surface du globe sous une faible densité, ce qui rend son utilisation difficile. Un grand nombre d'expérimentateurs se sont appliqués à trouver des solutions pratiques. En concentrant les rayons solaires au moyen de miroirs, on peut obtenir des effets thermiques ou mécaniques, tels que l'ébullition d'un liquide, la fusion d'un métal, la dilatation d'une masse d'air ; mais le caractère intermittent du rayonnement, son irrégularité, créent des difficultés presque insurmontables. Le seul appareil vraiment adapté à la captation de l'énergie solaire est celui que nous offre la nature dans les plantes vertes. Svante Arrhénius (2)

(1) Voir sur le sujet, Ch. Maurain, *Les sources d'Énergie*, BULLETIN DE LA DIRECTION DES RECHERCHES ET DES INVENTIONS, n° 15, p. 6, 1920.

(2) Arrhénius, JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE, juillet 1920, pp. 114-121.

évalue à 0,12 p. 100 la fraction de la chaleur solaire accumulée dans les végétaux terrestres ; pour petite que soit cette quantité, l'énergie qu'elle représente n'en vaut pas moins plusieurs fois celle du charbon consommé sur toute la terre.

D'après les données précédentes, une feuille de 1 décimètre carré de surface reçoit du soleil environ 100 petites calories par minute, soit 6000 à l'heure ; doublons le chiffre pour tenir compte de la surface inférieure de la feuille, nous obtenons un maximum de 12.000 calories. Condensée de façon à produire sur le champ une élévation convenable de la température, cette énergie suffirait à décomposer un peu plus de 5 grammes d'acide carbonique ; répartie sur une longue durée, lentement distribuée, elle restera sans effet.

On ne saurait comparer la cellule verte à une machine composée capable de convertir en énergie calorifique à haut potentiel une fraction de la chaleur reçue ; beaucoup de plantes assimilent encore au voisinage de 0 degré, et, ce qui est capital, toutes les cellules d'une feuille, à un instant donné, se trouvent sensiblement à la même température.

Les réactions de dissociation et de synthèse dont la cellule verte est le siège sont, avant tout, de nature *photochimique*, c'est-à-dire que la plante transforme l'énergie du rayonnement solaire en énergie chimique *sans passer par l'intermédiaire de la chaleur.*

C'est ici qu'intervient le pigment vert des feuilles, la chlorophylle de Pelletier et Caventou ; en effet, comme l'a montré le physicien Ingenhouz, seules les parties vertes des plantes sont capables de décomposer l'acide carbonique à la lumière.

Le pigment que les anciens auteurs extrayaient par l'alcool et qu'ils croyaient simple, est en réalité très complexe et comprend plusieurs pigments verts ou chlorophylles proprement dites, plusieurs pigments jaunes ou

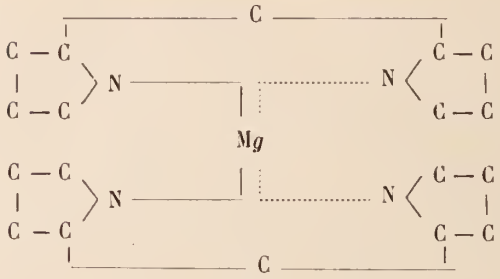
xanthophylles, enfin un pigment rouge extrêmement instable, la carotine. On peut isoler ces différentes substances en se mettant en garde contre leur grande altérabilité. Une des méthodes les plus élégantes est le procédé chromatographique par adsorption imaginé par Tswett (1). La chlorophylle dissoute dans le sulfure de carbone ou le benzène et filtrée sur une colonne de carbonate de chaux, d'inuline ou de sucre donne lieu à une stratification pigmentaire que l'auteur a comparée à la dispersion des radiations lumineuses par le prisme. Il est facile de séparer les diverses couches de ce *chromatogramme* en libérant les pigments par l'alcool ou l'éther. On recueille ainsi deux pigments de tonalité verte et quatre pigments jaunes, les xanthophylles ; la carotine passe sans être adsorbée.

Plus récemment, Willstaetter, rompant avec les méthodes désuètes de laboratoire qui ne permettaient d'obtenir que de petites quantités de produit, vient de préparer en grand la chlorophylle en se basant sur la solubilité du pigment vert dans les carbures gras additionnés d'alcool. Il confirme l'existence de deux pigments verts, les chlorophyllines α et β, la première bleue, la seconde verte en solution éthérée, répondant aux formules brutes $C^{55}O^{5}H^{72}N^{4}Mg$ et $C^{55}O^{6}H^{72}N^{4}Mg$.

On peut mettre en évidence, dans les chlorophyllines, une molécule d'alcool méthylique $CH^{3}OH$, une molécule d'un alcool particulier, le phytol $C^{20}H^{39}OH$, un anneau lactamique imidé — CO-NH — et, résultat absolument inattendu, un atome de magnésium.

Le métal se trouve en combinaison complexe, c'est-à-dire qu'il est masqué à ses réactifs habituels; Willstaetter représente ainsi le noyau des molécules :

(1) Tswett, Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, XXIV, 1906, pp. 316-324.



On voit le magnésium lié par ses deux valences principales à deux noyaux pyrroliques et en maintenant deux autres par ses valences auxiliaires. Cette formule schématique rend bien compte de la façon dont se comportent les chlorophyllines à l'égard des agents chimiques.

Ce sont là des édifices extrêmement fragiles. Au seul contact des adsorbants, les pigments verts subissent des modifications intramoléculaires qui d'ailleurs laissent les spectres intacts. Les acides s'emparent de l'atome de magnésium et changent les chlorophyllines en phéophytines α et β, substances de couleur gris-verdâtre et brun-jaune en solution et dont le spectre présente des bandes foncées dans le vert. Ces dérivés s'unissent facilement à des métaux tels que le zinc ou des sels métalliques : acétates de zinc, de fer ou de cuivre. Les alcalis saponifient les chlorophyllines avec mise en liberté d'alcool méthylique, de phytol et ouverture de la chaîne lactamique. A la t mpérature ordinaire, on obtient des acides tribasiques ; si l'on opère à l'autoclave vers 140°, de l'acide carbonique se dégage et il reste deux isomères bibasiques ; à 200°, il ne se fait plus que des acides monobasiques répondant à la formule $MgN\,C^{31}H^{33}COOH$. Dans tous les cas, l'alcali est impuissant à détacher le magnésium, mais, sous l'action des acides, le métal est remplacé par deux atomes d'hydrogène ; on donne le nom de porphyrines aux corps ainsi obtenus. Les isomères monobasiques, pyrroporphyrine et phylloporphyrine, sont particulièrement inté-

ressants ; la phylloporphyrine, en effet, est proche parente de l'hématoporphyrine dérivée de l'hémoglobine (1) ; toutes deux renferment des groupes pyrrol que l'on peut aisément déceler au moyen des agents de réduction.

Les produits d'oxydation et de réduction de la chlorophylle ont fait, eux aussi, l'objet de recherches nombreuses; c'est surtout dans cette catégorie de dérivés que se manifeste l'analogie chimique entre l'hématine et les chlorophyllines.

Signalons enfin une curieuse réaction des chlorophyllines due à une diastase très répandue chez les végétaux, *la chlorophyllase*. Cet enzyme saponifie partiellement les chlorophylles en détachant du noyau la molécule de phytol ; suivant que l'on opère en présence d'alcool méthylique ou éthylique, le radical phytyl se trouve remplacé par les radicaux gras CH^3 ou C^2H^5.

L'étude chimique des chlorophyllines est dès maintenant poussée très loin, grâce aux recherches de l'École de Zurich (2). Ainsi que le faisait remarquer dès 1912 le professeur Tswett, dans un travail publié par la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, nous sommes loin des rudes procédés de la période héroïque ; peu à peu, la science dévoile la structure du noyau moléculaire des chlorophyllines ainsi que la nature des chaînes latérales, et peut-être pourra-t-elle un jour s'attaquer au problème inverse de la synthèse de la chlorophylle.

La physiologie bénéficie-t-elle d'ores et déjà de ces

(1) A n'en pas douter, chlorophyllines et hémoglobine sont chimiquement apparentées. Voir à ce sujet Marchlewcski : *Chlorophylle et pigment du sang ;* étude sur la parenté chimique des colorants fondamentaux du monde végétal et du monde animal ; BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DE CHIMIE BIOLOGIQUE, IV, 1922, p. 476. Il ne faut pas d'ailleurs exagérer la portée générale de ces faits ; le groupe pyrrol est banal en biochimie ; on le rencontre dans les protéines et les alcaloïdes aussi bien que dans l'hématine et la chlorophylle.

(2) La plus grande partie des travaux de Willstaetter sur les chlorophyllines ont paru aux LIEBIG ANNALEN, de 1906 à 1912.

progrès de la chimie ? Pour l'instant, la réponse est absolument négative. Aucune des réactions précédentes ne nous fournit la moindre indication sur la façon dont la chlorophylle pourrait intervenir chimiquement dans la décomposition de l'anhydride carbonique. De toute évidence, les pigments chlorophylliens sont les intermédiaires efficaces entre le soleil et le monde végétal, mais en quoi consiste leur médiation ?

Les hypothèses émises jusqu'à ce jour ne font que souligner notre ignorance. De l'avis de Tswett, les chlorophyllines, sous l'action des radiations absorbées, subissent des transformations intramoléculaires puis se régénèrent en rayonnant sous forme de lumière phosphorescente rouge l'énergie emmagasinée l'instant d'avant ; les radiations solaires se trouvent ainsi condensées et deviennent aptes à opérer la dissociation de l'acide carbonique qui circule dans la trame des corpuscules chlorophylliens.

De telles explications n'ajoutent rien à nos connaissances. C'est en vain qu'on cherche à utiliser la chlorophylle, en dehors du contenu cellulaire, comme amplificateur de la radiation solaire. Le pigment vert n'est pas un talisman au contact duquel le gaz carbonique se décompose aussitôt en ses éléments ; ce n'est qu'un rouage d'un appareil minutieux ; une pièce détachée saurait-elle jouer le rôle de la machine entière ? Le milieu cellulaire est infiniment complexe ; dans la cellule verte, les chlorophyllines ne sont en solution ni dans l'alcool ni dans le benzène ni dans les carbures gras ; elles ne se trouvent pas réparties au hasard mais fixées généralement sur les mailles de petits corpuscules protoplasmiques à structure spongieuse, les chloroleucites ; de plus, d'autres pigments les accompagnent d'une façon constante ; on distingue plusieurs xanthophylles et un pigment rouge orangé, la carotine, le même qui colore la pulpe de la carotte.

La carotine a été définie comme hydrocarbure par Arnaud et par Willstaetter ; ce dernier lui assigne la

formule brute $C^{40}H^{56}$; on ignore sa constitution. Elle est éminemment oxydable et peut-être pourrait-on considérer les xanthophylles comme des oxycarotines. Ces pigments jaunes sont bien peu connus. Ils répondent à la formule $C^{40}H^{56}O^{2}$; l'alcool les dissout aisément ; ils sont avides d'oxygène et se combinent à l'iode et au brome. Interviennent-ils par leurs fonctions chimiques, jouent-ils simplement le rôle d'écran ? La solution de ces problèmes paraît fort éloignée, pour la raison bien simple qu'il nous est impossible d'expérimenter. Extraire les pigments, les séparer, les purifier, cela est en notre pouvoir ; les remettre en place et reconstituer le mécanisme assimilateur, voilà qui nous dépasse. Dans son beau livre sur la *Chimie de la matière vivante* (1), Jacques Duclaux déplore que les chimistes s'occupent si peu désormais de la chlorophylle, alors que leurs devanciers se sont passionnés pour ces questions. A dire vrai, nous brûlons d'arracher à la cellule verte le secret de ses opérations, mais il faut reconnaître que les problèmes résolus par Priestley, Ingenhouz, Sénebier, Dumas, Boussingault étaient des jeux d'enfant auprès de ceux que nous devons aborder. L'étude spectroscopique des pigments a été poussée à fond ; on a noté minutieusement les conditions dans lesquelles s'effectuent la dissociation du gaz carbonique et la synthèse de la matière organique. Reste à découvrir le mécanisme intime de ces réactions. Pour cela, il nous faudrait sortir du rôle de spectateurs et passer à l'expérimentation.

D'ailleurs, les phénomènes les plus simples de la photochimie sont encore à expliquer. Lorsque les vibrations lumineuses rencontrent un système matériel quelconque, elles produisent un double effet : d'une part, elles élèvent la température ; de l'autre, elles déterminent des changements de nature chimique. L'absorption de lumière qui

(1) Jacques Duclaux, *La chimie de la matière vivante*. Nouvelle collection scientifique, Alcan, Paris, 1910.

se traduit par un échauffement de la substance irradiée est un fait absolument général ; au contraire, l'action chimique des rayons lumineux, trop faible d'ordinaire pour être perçue, ne se manifeste que dans quelques cas privilégiés.

Dès 1809, Gay-Lussac et Thénard remarquaient que la lumière accélère la combinaison du chlore et de l'hydrogène au point de déterminer une explosion si l'intensité lumineuse est suffisante. On sait depuis longtemps qu'une solution de chlorure mercurique et d'oxalate d'ammonium reste inaltérée à l'obscurité, tandis qu'à la lumière il se dégage de l'acide carbonique en même temps qu'il se dépose du calomel. Les réactions de ce genre sont nombreuses ; la photographie n'est qu'une application de la photochimie, basée sur la réduction des sels d'argent par les rayons lumineux. Les cas de chimiluminescence, inverses des précédents, achèvent de mettre en évidence la relation qui peut exister entre les réactions chimiques et les phénomènes lumineux. On a observé de longue date que certaines transformations, même purement physiques, s'accompagnent d'une émission de lumière beaucoup plus forte que ne le comporterait la température du système ; le phosphore luit dans l'obscurité en s'oxydant avec lenteur; dans la cristallisation du sulfate de potassium et de beaucoup d'autres substances, on perçoit de petites étincelles qui paraissent émaner des cristaux en voie de formation. Il semble bien que l'énergie chimique puisse être convertie directement en lumière sans l'intermédiaire de la chaleur.

Les actions photochimiques des rayons lumineux sont soumises aux mêmes lois générales que leurs effets optiques. Dans un cas comme dans l'autre, on observe la réflexion, la réfraction, la polarisation ; l'intensité varie en raison inverse du carré de la distance à la source et, si l'on interpose sur le trajet des rayons une substance absorbante, les effets photochimiques et optiques sont

atténués dans la même mesure. Enfin, pour une même espèce de lumière, l'action photochimique ne dépend que du produit de l'intensité par la durée de l'éclairement. En outre, l'expérience a permis de dégager quelques lois empiriques, telles que les suivantes : 1° la lumière de toute longueur d'onde est capable d'action photochimique ; 2° l'effet chimique des radiations est étroitement lié à l'absorption optique, bien que l'absorption n'entraîne pas nécessairement une action chimique.

Ces lois sont vérifiées lors de la décomposition de l'acide carbonique par la cellule verte. Le phénomène de dissociation se produit dans toutes les régions du spectre visible, mais il atteint son maximum dans les rayons rouges, entre les raies B et C de Frauenhofer ; ce sont précisément ces rayons que la chlorophylle absorbe avec le plus d'énergie. Aux éclairements faibles, la quantité de gaz carbonique dissocié croît rapidement d'abord avec l'intensité lumineuse, puis de plus en plus lentement jusqu'à un maximum dont la position diffère pour chaque plante et qui est situé généralement à mi-chemin de l'insolation directe; au delà, il y a excès de lumière, soit que la chlorophylle subisse un commencement d'altération, soit que l'appareil cellulaire chargé d'utiliser l'énergie condensée se trouve alors débordé. L'action de tous les facteurs externes sur les êtres vivants est représentée par une courbe de ce genre plus ou moins symétrique par rapport à l'ordonnée qui correspond au maximum.

Il n'est pas temps encore d'ébaucher une théorie de la photochimie ; on ne peut émettre que des hypothèses touchant la transformation de l'énergie lumineuse en travail chimique. Si l'on admet que les vibrations lumineuses sont produites par des ébranlements électriques, on est porté à comparer l'action chimique de la lumière à celle du courant galvanique. Il est certain que la lumière agit d'une autre façon que la chaleur, car l'élévation de la température n'exerce qu'une faible influence sur les réactions photochimiques.

D'ailleurs, les rayons lumineux n'opèrent pas seulement dans le sens de l'affinité, en favorisant une réaction qui se produit déjà, quoique moins facilement, à l'obscurité ; ils sont capables de provoquer des déplacements d'équilibre à l'encontre des forces chimiques ; c'est ainsi qu'ils transforment l'anthracène en dianthracène, ce dernier revenant à l'état d'anthracène dès qu'il cesse d'être irradié. Aucune loi ne permet de prévoir, pour chaque cas particulier, de quelle manière s'exercera l'action de la lumière. Il est à peine croyable que les connaissances humaines sur un sujet de cette importance soient encore aussi restreintes. Les processus photochimiques sont à la base de la vie ; la cellule verte sait convertir *directement* l'énergie rayonnante en énergie chimique ; mais serons-nous jamais en état de l'imiter ? Du moins le problème est posé désormais ; devant l'épuisement rapide des réserves de pétrole et de charbon, il n'est peut-être pas téméraire de prédire un âge de la photomécanique et de la photochimie industrielles.

La dissociation de CO^2 par les plantes vertes obéit à la plupart des lois qui régissent les réactions photochimiques, notamment pour ce qui est de l'influence de la température sur la vitesse de réaction ; tandis que la valeur des échanges respiratoires peut décupler lorsque la température s'élève de 2° à 25°, c'est à peine si, dans ces conditions, l'intensité de l'assimilation varie du simple au triple.

Il est clair toutefois que la décomposition de CO^2 en ses éléments mérite une place à part parmi les réactions photochimiques connues jusqu'alors. Les sels d'argent, l'acide oxalique, sont facilement réduits sous les influences les plus diverses ; la combinaison du chlore et de l'hydrogène est favorisée par toutes sortes de circonstances en raison de l'affinité réciproque de ces deux éléments.

Au contraire, l'acide carbonique est un corps inerte, d'une stabilité parfaite qui exige, pour être dissocié en

carbone et oxygène, un gros apport d'énergie. La lumière solaire le laisse absolument intact. En vain essaie-t-on d'activer les rayons en plaçant sur leur trajet un écran de chlorophylle ; et pourtant ce procédé, en d'autres cas, se montre particulièrement efficace ; c'est ainsi qu'on provoque une décomposition rapide des sels d'argent par les rayons rouges, entre les raies B et C, dès qu'on additionne les liqueurs d'un peu de chlorophylle (1) ; en l'absence de pigment, les combinaisons argentiques ne sont sensibles qu'aux radiations de courtes longueurs d'onde.

Le pigment des cellules vertes est, à coup sûr, un sensibilisateur merveilleux, mais, entre nos mains, c'est-à-dire en dehors du milieu cellulaire, il se montre incapable de déterminer la dissociation de l'acide carbonique. Le mécanisme essentiel de la réaction qui s'accomplit au sein de la cellule verte nous échappe entièrement et nul ne saurait dire si nous pourrons jamais le reproduire. D'ailleurs, on observe les plus grandes variations dans la composition des pigments assimilateurs dès que l'on passe d'un groupe de plantes à un autre ; les pigments bruns, bleus ou rouges des algues diffèrent profondément de la chlorophylle des plantes supérieures. Certaines bactéries colorées en rouge par la bactériopurpurine sont même entièrement dénuées de chlorophylle et n'assimilent pas moins l'acide carbonique. Bien plus, il existe des organismes microscopiques, répandus à profusion dans le sol, et qui, sans pigment d'aucune sorte, à l'abri des rayons lumineux, se chargent de dissocier le gaz car-

(1) Ce n'est pas là d'ailleurs un fait isolé, encore moins un privilège de la chlorophylle ; quantité de matières colorantes produisent le même effet et l'on peut, à volonté, préparer des plaques photographiques sensibles au rouge, au jaune, à toutes les couleurs, par simple addition de faibles quantités de matières colorantes organiques ; dans tous ces cas, le colorant sensibilise principalement les espèces de lumière qu'il absorbe.

bonique ; ce sont les microbes nitrifiants, ceux-là mêmes qui transforment l'ammoniaque en acide nitrique.

Ces exceptions remarquables font voir que la lumière n'est pas indispensable à toute cellule vivante pour décomposer l'acide carbonique. D'où vient alors l'énergie mise en œuvre ? Que des problèmes de cette envergure ne tentent personne, cela montre à quel point nous nous sentons, pour l'instant, incapables d'en découvrir la solution.

* * *

La dissociation de l'acide carbonique n'est que le premier terme d'une série de réactions qui concourent à l'élaboration de la matière organique. Il est impossible, en réalité, d'isoler de l'ensemble un phénomène particulier ; en même temps qu'elle rejette l'oxygène libéré dans la décomposition du gaz carbonique, la cellule verte insolée s'enrichit en principes divers dont les plus importants sont les hydrocarbones et les substances protéiques.

Trouve-t-on dans les opérations de laboratoire quelques indications qui permettent d'entrevoir les voies suivies par la nature ?

Nous savons, dit-on, faire la synthèse des sucres par nos propres moyens, en partant des éléments. En effet, lorsqu'on abandonne en milieu alcalin de l'aldéhyde formique H-CHO, il se produit une condensation dont le mécanisme essentiel nous est connu et qui aboutit à la formation de divers hexoses, parmi lesquels le fructose inactif ou α-acrose.

Il est naturel de penser que les plantes ne procèdent pas différemment. Le premier produit organique élaboré par les cellules vertes serait donc le formol. L'hypothèse déjà ancienne est de Von Baeyer qui la conçut en méditant sur la facile condensation des corps à fonction aldé-

hyde (1) ; l'idée conduisit plus tard Emil Fischer à tenter l'aldolisation du formol sous l'action des alcalis (2). En possession d'un réactif de choix isolé par lui, la phénylhydrazine, il réussit à séparer à l'état de combinaisons cristallines les différents hexoses qui prennent naissance lors de la condensation de l'aldéhyde formique.

Du moment que l'on sait préparer, à partir des éléments, soit le formol, soit la glycérine, il est clair que le problème de la synthèse totale des sucres (3) se trouve résolu. Sans doute le fructose ou le glucose artificiels coûteraient leur poids d'or, mais là n'est pas la question ; il suffit qu'on sache les obtenir de synthèse en dehors de toute intervention de la nature.

Dans quelle mesure ces réactions de laboratoire peuvent-elles nous faire comprendre ce qui se passe dans les feuilles ? Faut-il s'attendre à trouver, dans les cellules

(1) Il est juste d'observer que, dès 1864, Berthelot dans ses *Leçons sur les méthodes générales de synthèse* (p. 181) avait émis une idée à peu près semblable en rapportant à l'action de l'hydrogène sur l'oxyde de carbone la formation des substances hydrocarbonées dans les cellules vertes.

(2) Wurtz avait tenté en vain d'obtenir la condensation du formol, après avoir réalisé celle de l'aldéhyde glycolique ; il opérait en milieu acide.

(3) Il importe d'observer que seuls ont été préparés de synthèse les hexoses qui se forment par condensation du formol ou de l'aldéhyde glycérique, c'est-à-dire le glucose, le fructose et le mannose ; on obtient, bien entendu, les corps racémiques que l'on dédouble ensuite en leurs énantiomorphes.

Le galactose constitue un terme à part sans relation avec les précédents ; il n'apparaît pas dans la réaction de Fischer et jusqu'alors il a résisté à toutes les tentatives de synthèse. Cependant le galactose est abondant chez les végétaux ; il s'y trouve, non pas à l'état libre, mais sous forme de galactanes, produits de condensation qui renferment généralement, à côté du galactose, de l'arabinose ou du xylose ; les gommes, les mucilages, les matières pectiques sont des principes de ce genre. Dans les cellules vertes insolées, c'est le *d.* fructose et le *d.* glucose que l'on rencontre ; ces deux hexoses sont ainsi la matière première des composés hydrocarbonés les plus variés et notamment de ceux qui renferment du galactose.

vertes, des masses d'aldéhyde formique et une dose d'alcali suffisante pour en déterminer l'aldolisation à la température ordinaire ? Le formol est l'un des plus puissants antiseptiques que l'on connaisse ; sa présence en quantité appréciable dans les parenchymes verts les stériliserait sur-le-champ ; par ailleurs, encore que le protoplasme lui-même, isolé du suc cellulaire, ait, croit-on, une réaction basique, il est loin de posséder l'alcalinité indispensable à la condensation du formol.

Si l'aldéhyde formique est effectivement la matière première des hydrocarbones que l'on rencontre dans la cellule verte, il faut donc qu'*aussitôt élaboré* il subisse une condensation qui le rende inoffensif. Un tel processus n'a pas d'analogue dans les réactions de laboratoire.

Quel peut être le réactif qui supplée à l'insuffisance de l'alcalinité ? Il n'est pas facile de le dire, vu que les réactions de synthèse cessent dès que nous essayons d'extraire de la cellule les diverses substances qui la constituent.

L'étude des réactions chimiques provoquées par les radiations de courtes longueurs d'onde est de nature à jeter quelque lumière sur les phénomènes de synthèse qui, dans la cellule verte insolée, aboutissent à la formation des matières hydrocarbonées.

Les rayons ultra-violets, tels qu'ils sont émis par l'arc au mercure, provoquent toutes sortes de transformations chimiques : décomposition des substances les plus diverses, polymérisation des carbures, des aldéhydes...., oxydation de l'ammoniaque, du cyanogène..., synthèse de l'acide et de l'aldéhyde formiques (1). Cette dernière réaction est particulièrement intéressante ; on la répète aisément en irradiant, au moyen d'une lampe à vapeur de mercure, un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène ; au bout de quelques heures, le volume des gaz se trouve réduit et le

(1) Voir Daniel Berthelot et Henri Gaudechon. C. R. Ac. Sc., t. 150, 1910, pp. 1169, 1326, 1517, 1690.

tube de quartz qui sert à l'expérience est couvert de gouttelettes de méthanal solidifiées à l'état de trioxyméthylène. Or les mêmes radiations sont capables de dissocier l'anhydride carbonique en oxyde de carbone et oxygène et de dédoubler l'eau en ses éléments, hydrogène et oxygène. Voilà donc réalisée toute la série des réactions qui s'accomplissent à l'intérieur des cellules à chlorophylle ; la seule énergie mise en jeu est celle du rayonnement. Désormais, nous savons qu'il est possible, en dehors de toute intervention de la vie, d'effectuer, à la température ordinaire, à partir de l'acide carbonique et de l'eau, la synthèse des composés hydrocarbonés tels que le fructose *racémique*.

Mais il est clair que la science ne nous offre ici, une fois de plus, qu'une *analogie*. Les radiations ultra-violettes de longueurs d'onde inférieures à 3000 unités Angström (u. a. = un dix-millionième de millimètre) sont absentes du rayonnement solaire tel que nous le recevons à la surface de la terre. Ce n'est pas à dire que le soleil ne soit une source puissante d'ultra-violet ; tout nous conduit à lui assigner une température voisine de 6000 degrés ; or, dans ces conditions, la fraction de l'énergie lumineuse répartie dans la région ultra-violette du spectre n'est pas inférieure au cinquantième du rayonnement total. Malgré cela, le spectre solaire, sur la terre, ne s'étend pas au delà des radiations de longueur d'onde égale à 3000 u. a. Cette limitation est due à l'absorption atmosphérique ; elle varie en effet avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. On peut donc être certain que les rayons ultra-violets ne sont pour rien dans le phénomène de l'assimilation du carbone par les végétaux. Si le spectre solaire comprend, par intermittence (1), des radiations de courtes

(1) Le pouvoir absorbant de l'atmosphère à l'égard du rayonnement ultra-violet est extrêmement variable suivant la limpidité de l'air. Nos yeux ne peuvent juger de la transparence de l'atmosphère, à un moment donné, pour les radiations ultra-violettes ;

longueurs d'onde, il est facile de se convaincre que ces radiations ne sont pas indispensables. Les mêmes plantes assimilent le carbone aussi bien sous les climats brumeux que sous les cieux limpides ; les récoltes de blé sont également abondantes en Écosse et en Algérie ; la betterave s'accommode du ciel sombre du nord de l'Allemagne aussi bien que du climat de l'Ile de France.

D'ailleurs, on peut placer les plantes vertes à l'abri d'écrans qui absorbent complètement la partie la plus réfrangible du spectre. Une lame de verre de $1^{mm}4$ d'épaisseur suffit à éliminer toutes les radiations de longueurs d'onde inférieures à 3000 u. a. Les plantes qui se développent sous châssis ou en serre ne reçoivent donc aucune fraction du rayonnement ultra-violet ; cela ne les empêche pas d'assimiler le gaz carbonique.

Loin de favoriser les opérations de la cellule, la lumière ultra-violette leur est funeste. Les radiations de faibles longueurs d'onde sont destructrices de la matière vivante ; elles provoquent sur l'épiderme les rougeurs caractéristiques du coup de soleil, frappent les yeux de conjonctivite et tuent rapidement les êtres inférieurs, moisissures et microbes. Si la terre n'était pas protégée par son atmosphère, toute vie serait impossible à la surface du globe, du seul fait de la toxicité des radiations de courtes longueurs d'onde.

Les plantes sont en état d'utiliser les radiations visibles; c'est là, pour l'instant, un privilège incomparable. De toute évidence, la chlorophylle joue un rôle essentiel dans cette transformation de l'énergie lumineuse. Mais quel est ce rôle ? Ce n'est pas celui d'un simple écran, car il ne sert de rien de placer sur le trajet des rayons lumineux une solution de chlorophylle ; ils n'en deviennent pas plus aptes à effectuer la synthèse de la matière organique en dehors du contenu cellulaire.

notre épiderme est un plus sûr réactif : les coups de soleil sont le fait des radiations de courtes longueurs d'onde.

La chlorophylle intervient donc par ses fonctions chimiques. Agit-elle à la façon d'un catalyseur qui se retrouve intact à la fin de la réaction ? On devrait admettre alors que le spectre visible, de lui-même, en l'absence de pigment, est capable d'opérer la dissociation du gaz carbonique et de la vapeur d'eau ; en effet, le propre d'un catalyseur est d'accélérer la vitesse d'une réaction ; mais encore faut-il qu'il y ait réaction, si lente soit-elle. Or l'acide carbonique n'absorbe que les radiations très réfrangibles de longueurs d'onde voisines de 2000 u. a.

Il se pourrait que la chlorophylle subît une altération plus ou moins profonde au cours des opérations de photosynthèse ; en se détruisant, elle rayonnerait l'énergie emmagasinée. Il est certain que la cellule insolée élabore sans cesse du pigment vert et que les radiations lumineuses, principalement les rayons rouges, exercent une action nocive sur la chlorophylle.

Les pigments jaunes qui accompagnent constamment la chlorophylle dans la cellule verte sont-ils indispensables à l'élaboration de la matière organique ? Pour répondre à cette question, il faudrait pouvoir expérimenter comparativement sur la chorophylle totale et sur les chlorophyllines ; l'instabilité des carotinoïdes rend de telles recherches particulièrement délicates.

Tandis que la constitution chimique de la chlorophylle est suffisamment connue, nos données sur le rôle du pigment vert sont restées rudimentaires. Toutefois, il est permis d'espérer que la physiologie végétale ne tardera pas à profiter des progrès réalisés dans l'étude des phénomènes photochimiques. Un certain nombre de faits récemment établis semblent tracer la v ie à l'expérimentateur ; c'est ainsi qu'on aurait obtenu de l'aldéhyde formique à partir du gaz carbonique et de l'eau par simple exposition à la lumière du jour d'une solution aqueuse d'acide carbonique additionnée d'une matière colorante : méthyl-orange, vert malachite, p. nitroso-diméthyl-ani-

line ; la réaction se produirait encore lorsqu'on interpose sur le trajet des rayons un écran de verre épais. La décomposition de l'acide carbonique par la lumière visible cesserait ainsi de compter parmi les phénomènes strictement biologiques.

La liste des *catalyseurs lumineux* ne cesse de s'allonger. On connaissait depuis longtemps la propriété de la chlorophylle d'accélérer la vitesse de décomposition des sels d'argent par la lumière rouge ; un grand nombre de matières colorantes organiques jouissent d'un privilège analogue. Divers composés minéraux influent également sur la vitesse des réactions photochimiques : des traces minimes de sels d'uranium suffisent à rendre quatre ou cinq fois plus rapide la décomposition des acides bibasiques par la lumière. Inversement, certaines sulstances entravent l'action du rayonnement ; c'est ainsi que les radiations ultra-violettes de moyennes longueurs d'onde ($\lambda = 2900$ u. a.) cessent de provoquer la polymérisation de l'aldéhyde formique en présence de chlorure ferrique, de nitrate d'urane, etc...

Dans tous les cas, les substances interposées accaparent le rayonnement et suppriment son action propre ; l'agitation vibratoire que leur communique la radiation se propage aux particules voisines provoquant certaines réactions que les rayons lumineux seraient incapables d'effectuer par eux-mêmes.

Mais eussions-nous trouvé le moyen d'utiliser l'énergie photochimique des rayons visibles, nous les verrions incontestablement opérer de la même façon que le font les rayons ultra-violets. Or la plupart des réactions provoquées par les radiations de courtes longueurs d'onde sont *réversibles* ; c'est le cas notamment des suivantes :

$$2H^2O + O^2 \rightleftarrows 2H^2O^2$$
$$2CO + O^2 \rightleftarrows 2CO^2$$
$$CO + H^2 \rightleftarrows H.CHO$$
$$n(HCHO) \rightleftarrows (HCHO)^n$$

Dans toutes ces réactions, un composé ne subsiste qu'en présence d'une masse déterminée des corps qui le constituent. L'aldéhyde formique exposé aux radiations ultraviolettes ne se polymérise pas intégralement, pour la raison bien simple que ses polymères, soumis à leur tour au rayonnement, se décomposent en partie ; l'équilibre est atteint, dans des conditions expérimentales données, lorsque la vitesse de polymérisation du formol est égale à la vitesse de décomposition des produits de condensation. C'est l'obstacle qui s'oppose à l'obtention de quantités importantes d'hexoses à partir du formol ; les sucres se détruisant au fur et à mesure qu'ils prennent naissance, ils ne pourraient s'accumuler que si l'on avait le moyen de les soustraire, aussitôt formés, à l'action du rayonnement (1). Les réactions intracellulaires de synthèse sont bien différentes. La polymérisation de l'aldéhyde formique s'effectue sur-le-champ et les sucres *optiquement actifs* qui en sont le résultat s'accumulent impunément dans les cellules vertes sans avoir rien à craindre des radiations solaires.

Le problème de la synthèse des substances organiques à partir du carbone minéral a dès maintenant reçu une solution spéculative. Ce n'est pas à dire que nous soyons à même de supplanter la nature ; la cellule verte reste le seul appareil en état de produire de grandes quantités de matière organique. En vain fait-on observer que son rendement est déplorable, les plantes ne restituant que le centième environ de la chaleur qu'elles reçoivent. Aucune comparaison n'est possible entre les rendements de l'industrie et ceux de la nature, du moment que l'industrie prend toujours comme point de départ un composé organique naturel élaboré par la vie, alors que les plantes n'ont à leur disposition que l'acide carbonique

(1) Voir les récents travaux de Baly sur la Photosynthèse : CHEMICAL SOCIETY, juillet 1921 et mai 1922.

de l'atmosphère. Continuerait-on à fabriquer des colorants artificiels si les matières premières extraites de la houille, c'est-à-dire des végétaux, venaient à faire défaut, si l'on devait partir du carbone lui-même, bien plus, préparer ce carbone en l'empruntant à l'atmosphère ou à la pierre calcaire ?

Si faible d'ailleurs que soit le rendement de la cellule du point de vue strictement thermique, qui se chargerait de construire une machine analogue, capable de fonctionner à la température *ordinaire*, sous les climats les plus *uniformes*, et de restituer un centième environ de la chaleur reçue ? Trouverons-nous jamais un système chimique dont les éléments réagissent les uns sur les autres à basse température, pour aboutir à la formation de corps aussi complexes que le sucre, l'amidon, les matières protéiques ?

Il est évident d'ailleurs que la cellule verte ne peut être comparée à une machine thermique ; elle ne fonctionne qu'à la lumière et, entre certaines limites, la température influe médiocrement sur le rendement. La plante verte est, avant tout, un appareil photochimique adapté à la lumière visible, appareil unique jusqu'alors dont nous n'avons pas fini d'inventorier les rouages.

Ignorance passagère, disent les plus optimistes, que les siècles dissiperont peu à peu ; ignorance profonde, pensent de bons esprits, moins impressionnés par les résultats obtenus que par les difficultés qui subsistent ; abîme insondable dont les sciences expérimentales ne pourront que délimiter les contours sans parvenir à le combler.

H. Colin,
Prof. à l'Institut cath. de Paris.

LES FONDEMENTS SCIENTIFIQUES

DE LA

SÉLECTION PROFESSIONNELLE

Le problème de la sélection du personnel est un de ceux qui se posent aujourd'hui au chef d'entreprise avec le plus d'acuité. Sans doute, lorsque la main-d'œuvre fait défaut, la question ne peut être résolue qu'au petit bonheur : on est souvent forcé d'embaucher le premier venu. Mais par contre, par suite de cette même pénurie d'hommes, il est plus nécessaire que jamais d'utiliser chacun selon ses aptitudes. Le problème reste entier.

Peut-on le traiter scientifiquement ?

La science, qui jusqu'ici n'avait inspiré que la technique parce que c'est dans le monde des corps bruts que le déterminisme est le plus apparent, envahit depuis quelques années le domaine du travail de l'homme, parce que là se mêlent, en doses diverses, la liberté et l'automatisme. C'est ainsi qu'il y a une science du moteur humain dont nous avons donné un aperçu ici même dans une étude sur le chronométrage (1). Il est légitime de se demander si des méthodes analogues ne conviendraient pas pour résoudre le problème de la sélection.

Certains psychologues, certains chefs de laboratoire et surtout certains industriels pressés, en attendant qu'une science rigoureuse ait eu le temps de se constituer, ont essayé *des procédés empiriques*. Nous en donnerons deux exemples.

(1) Rev. quest. Sc., juillet 1923, pp. 118-134.

Le premier est emprunté à la *Rose des Métiers*, volume publié par M. F. Mauvezin, Directeur de la Chambre des Métiers de Bordeaux. Il comprend 250 tableaux correspondant aux métiers les plus divers et dont voici un modèle : il concerne le recrutement des « charrons ».

CHARRON

Doit être aussi forgeron.

CARACTÉRISTIQUES ET APTITUDES	Pour faire un charron vraiment qualifié, les aptitudes et qualités soulignées sont indispensables. Les prédispositions ou affections du § 7 (Divers), soulignées, sont rédhibitoires.

1	Taille	Au moins *moyenne, si possible.*
2	Force	*Au moins, moyenne*
3	Santé	Au moins moyenne
4	Vision	*Vue au moins moyenne*
5	Audition	Au moins moyenne, si possible
6	Poumons	Bons
7	Daltonisme	Indifférent
	Vertige	Indifférent
	Hernies	*Pas de hernies*
	Varices	Peu important
	Transpir. forte des mains	Indifférent
	Engelures graves aux mains	Peu important
8	Agilité, sang-froid	Peu important
9	Attention, ténacité	Attention
10	Observation, mémoire	Sens de l'observation
11	Coup d'œil	Peu important
12	Adresse manuelle	Adresse manuelle
13	Sens artistique	Peu important
14	Tenue, manières	Indifférent
15	Ordre, soins	Assez de soins
16	Écriture	Indifférent
17	Orthographe, narration	Indifférent
18	Calcul	Bonnes notions utiles
19	Géométrie	Peu important
20	Dessin linéaire	Bonnes notions utiles
21	Dessin d'ornement	Peu important

22	Instruction	Certificat d'études pas indispensable
23	Meilleur âge pour commencer l'apprentissage	14 ans
24	Temps d'apprentissage commencé à 13 ans	3 ans
25	Temps d'apprentissage commencé à 15 ans	2 1/2 ans
26	Métier accessible à la femme	Non

Un second exemple nous sera fourni par les *écoles par correspondance* si nombreuses en Amérique. Elles reçoivent des demandes d'inscription de futurs self-made-men qui, ne sachant pas très bien vers quelle profession s'orienter, prient l'école de les conseiller. A quoi l'école répond *en les priant de remplir un certain questionnaire.* C'est en nous inspirant d'un certain nombre d'entre eux que nous avons dressé le tableau suivant, dont la seconde colonne, qui n'est pas communiquée aux candidats, indique l'élément psychologique intéressant pour le directeur des cours ou pour un patron qui pourrait se servir du même moyen pour recruter ses employés.

(A chaque question dire pourquoi.)

1	Nom	Identité
2	Adresse en France	
3	Nationalité	
4	Age	
5	Marié ou non : enfants ?	
6	Vos maladies antérieures ?	Santé
7	Quelles qualités physiques spéciales avez-vous ? (estomac, vue, etc...)	
8	Votre instruction (primaire, secondaire ou supérieure ; technique, etc...)?	Curriculum vitae (acquis théorique)
9	Langues étrangères (indiquez si elles sont lues, parlées, écrites)?	
10	Quel a été votre travail pendant les trois dernières années et quels ont été vos appointements ? Indiquez en particulier les séjours à l'étranger.	Curriculum vitae (acquis pratique)

11 Quel est votre but principal dans la vie ? (Gagner de l'argent, avoir des enfants, travailler à un idéal national, ou quoi ?)	Buts et goûts
12 Si vous aviez le choix, quelle position préféreriez-vous et pourquoi ? A défaut de cette position, quelle autre ?	
13 Quelle situation précise voulez-vous atteindre dans les affaires, et en quel pays exactement ?	
14 Pourquoi vous êtes-vous adressé à nous ? A cause de nos idées, des appointements qu'offrent les postes dont nous parlons, etc. ?	
15 En dehors de vos affaires, avez-vous une marotte ? Laquelle ? (musique, sport, art, etc. ?)	
16 Quels sont vos appuis (relations, fortune, etc...) ?	Appuis
17 Quels vices combattez-vous le plus chez vos employés ? Alcoolisme, immoralité, fourberie, etc. ?	Moralité
18 Croyez-vous à la science ou au flair en affaires ?	Aptitudes intellectuelles
19 Comment vous y prenez-vous pour préparer un rapport ?	
20 Quand on vous a présenté à quelqu'un, que faites-vous de cette nouvelle relation ?	*a)* Esprit scientifique.
21 Quelles sont, dans l'ordre, les qualités principales que vous exigez d'un logement que vous vous disposez à louer ?	*b)* Esprit réaliste.
22 Êtes-vous homme de décision rapide ou pesez-vous mûrement le pour et le contre ?	Aptitudes de la volonté.
23 Quand vous avez décidé d'avoir un livre d'étude, au bout de combien de temps vous le procurez-vous, et par quels moyens ?	
24 En cas d'insuccès, vous obstinez-vous ou changez-vous de voie ?	*a)* Décision. *b)* Persévérance.
25 Êtes-vous collectionneur ? De quoi ? Depuis quand ?	
26 Avez-vous été collectionneur ? De quoi ? Jusque quand ?	

27 Comment vous faites-vous obéir ? (Autorité, raisonnement, justice, sympathie, etc.) 28 D'après votre expérience, un titre est-il utile pour se faire obéir ? 29 Agissez-vous plus sur les gens en leur parlant ou en les laissant parler ? 30 Quelle importance attachez-vous à votre apparence personnelle ? 31 Les bienfaits sont-ils un bon placement ?	Valeur comme conducteur d'hommes.
32 Préférez-vous l'initiative ou la méthode ? 33 Où notez-vous vos idées ? 34 Quels objets avez-vous sur votre table au moment où vous écrivez ceci ? 35 Économisez-vous et comment ?	Valeur comme organisateur de choses.
36 Avez-vous confiance en vous ? 37 Avez-vous foi dans l'humanité ? 38 Qu'est-ce qui stimule le plus vos efforts, les sympathies ou les difficultés ?	Enthousiasme
39 Avez-vous été content de vos progrès dans la vie ? 40 Quels obstacles avez-vous rencontrés jusqu'ici de la part des événements et des hommes ? 41 Quel salaire vous semble dû actuellement ? 42 Quels appointements espérez-vous avoir dans cinq ans, et par quels moyens ? 43 Quels livres lisez-vous ? 44 Lorsque vous ouvrez votre journal, quelles sont, dans l'ordre, les trois premières choses que vous lisez (par ex. : sports, politique étrangère, feuilleton, bourse, etc.) ? 45 Donnez deux références, votre signature, et si possible votre photographie.	Critique de soi-même et désir de s'élever.

On devine sans peine *les avantages et les inconvénients des deux procédés.*

1° Tous deux *partent d'une analyse physiologique ou psychologique des aptitudes* que doit présenter un candidat. C'est le fondement le plus solide de la méthode. Il demeurera lorsque nous remplacerons l'empirisme par l'expérimentation.

2° Par contre, *cette analyse est souvent fort imparfaite.*

Dans le tableau de M. F. Mauvezin, s'il est facile de définir la taille, la force ou le daltonisme, il est beaucoup moins aisé de donner un sens précis aux mots : coup d'œil, sens artistique, ordre ou manières. Dans le questionnaire, des termes comme : insuccès, flair, décision, confiance, justice ne sont pas moins ambigus. Leur emploi ne peut être considéré que comme un pis aller. Une lacune plus grave encore, c'est que, ni dans le premier cas ni dans le second, on ne nous dit comment on arrive à déterminer la présence chez le candidat, des aptitudes énumérées dans le tableau ; même dans le second cas, il paraît bien qu'il soit à la merci de ses erreurs d'observation, parfois de son désir de se vanter, et on n'élimine cette équation personnelle que par la tournure de certaines questions comme la 22e ou la 24e, ou par des recoupements qui exigent de celui qui dépouille les réponses un sens critique peu commun.

C'est pourquoi, sans méconnaître les services provisoires que peuvent rendre de pareils instruments, il faut se hâter de les remplacer par des instruments meilleurs. Mais, hâtons-nous de le dire, ces nouveaux outils, s'ils doivent s'appliquer à la totalité des métiers actuellement pratiqués, ne seront définitivement construits qu'au bout d'un grand nombre d'années et peut-être de décades. Quoi qu'il en soit, nous allons, sur un exemple concret, montrer le principe de cette jeune science. Cet exemple sera emprunté à *des études de M. J. M. Lahy sur les dactylographes.*

Ces études, nous l'avons laissé entrevoir, commencent, comme dans les tableaux de M. Mauvezin, ou comme dans notre questionnaire, par *une analyse psycho-physiologique ; mais elles se complètent par la recherche d'un test*, c'est-à-dire la recherche d'un moyen à la fois certain et facile de mettre en évidence les qualités décelées par la précédente analyse.

Notons, pour être complets, d'une part que M. Lahy perfectionne en ce moment ses premières recherches,

d'autre part que la partie de ses travaux que nous transcrirons ici ne concerne pas les qualités morales ; mais peu importe, car nous ne voulons donner qu'un exemple d'une méthode.

L'établissement d'une bonne série de tests, ici comme ailleurs, consiste :

a) A faire une hypothèse à la suite d'une analyse des mouvements du dactylographe ;

b) A imaginer des tests capables de déceler les aptitudes que l'analyse a proposées ;

c) A trouver des dactylographes de différentes catégories, bons, mauvais, moyens, et à chercher si les aptitudes prévues hypothétiquement appartiennent en fait aux bons, manquent en fait aux mauvais, et sont médiocrement représentées chez les moyens : on ne retiendra, pour composer la série des tests définitifs, que les aptitudes possédées effectivement par les meilleurs.

A. — *Hypothèse. Le dactylographe prend une image visuelle* de la copie qu'il doit faire ; donc, *vraisemblablement*, il doit posséder des qualités d'attention, une suffisante mémoire des phrases et des chiffres, et aussi une capacité de lire les manuscrits (cette capacité ayant été reconnue comme presque innée). L'image visuelle prise, *le dactylographe la transforme en image musculaire*, ce qui exige *probablement* une sensibilité tactile pour saisir la touche et une sensibilité musculaire pour appuyer sur elle, de l'ambidextrie, c'est-à-dire une égale habileté des deux mains, et peut-être enfin un temps de réaction aussi petit que possible, c'est-à-dire un minimum d'intervalle entre le moment où l'on voit et le moment où l'on frappe.

B. — Ces aptitudes hypothétiques seront saisies par les tests suivants :

a) Attention. — C'est le test qui date de Th. Ribot et qui consiste à barrer une lettre donnée, *a* par exemple,

dans un texte. A cause de la difficulté qu'il y a à spécifier la lettre et le texte, ce test est difficilement comparable à lui-même ; M. Lahy propose de remplacer les 25 lettres de l'alphabet par huit carrés de même dimension portant chacun en appendice un petit tiret placé, soit au milieu de chaque côté perpendiculairement à lui, soit à chacun des quatre angles dans le sens de la diagonale ; on met ces huit signes bout à bout en désordre, de manière à constituer une sorte d'alinéa de 400 signes ; on a choisi l'un d'eux à la place de l'*a* de Ribot. Le nombre de signes barrés par minute donne l'attention en quantité, le nombre d'erreurs donne l'inverse de l'attention en qualité.

b) Mémoire des chiffres. — On expose successivement à la vue du candidat des nombres du type suivant :

583
5832
58329
583296, etc.,

chaque nombre comprenant le nombre précédent augmenté d'un chiffre à sa droite. Chaque nombre est exposé un temps double de ce qu'il faut pour une lecture verbale : par exemple, pour le premier, deux fois le temps nécessaire pour prononcer les mots cinq, huit, trois. Le candidat doit répéter les nombres qu'il vient de voir. Si le dernier nombre qu'il a retenu contient 7 chiffres, sa mémoire des chiffres est marquée par le coefficient 7.

c) Mémoire des phrases. — La mémoire des phrases est mesurée par un test analogue.

d) Sensibilité tactile et musculaire. — Elle se mesure au compas de Weber ; c'est, en principe, un compas dont les deux pointes sont appliquées sur le bout du doigt, pointes qu'on resserre jusqu'à ce que le sujet ne perçoive plus qu'une pointe unique ; l'écartement limite représente l'inverse de sa sensibilité.

e) Ambidextrie. — On la mesure avec un simple dynamomètre à main qui donne les forces comparées des deux mains ; la mesure de l'ambidextrie est le rapport des nombres des deux dynamomètres ; elle est d'autant plus grande que ce nombre est plus voisin de 1.

f) Temps de réaction. — C'est le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a perçu un signal et le moment où l'on a fait le geste indiquant que le signal est perçu. L'appareil est formé essentiellement d'un circuit électrique dans lequel se trouvent une sorte de transmetteur Morse et un cadran divisé en cent parties sur lequel se meut une aiguille faisant le tour en une seconde. Un signal lumineux déclenche l'aiguille ; l'opérateur, qui a la main sur le transmetteur Morse, frappe dès qu'il perçoit la lumière et par là ferme le courant et arrête l'aiguille : le nombre de divisions qu'a parcourues l'aiguille indique en centièmes de seconde le temps de réaction.

g) Lecture des manuscrits. — Ce qui est intéressant, c'est la rapidité de la lecture ; on lit toujours sans faute si on lit dans une langue connue; il faut, pour cette épreuve, choisir des manuscrits types toujours les mêmes.

L'hypothèse dans ce que nous venons de dire est *double* ; elle porte sur le choix des aptitudes (par exemple, la brièveté du temps de réaction est-elle bien nécessaire à un bon dactylographe ?) et elle porte sur le choix des tests (par exemple, la sensibilité définie par le compas de Weber ou l'ambidextrie définie par le dynamomètre sont-elles bien celles dont un dactylographe a besoin ?).

Reste donc à confronter *ces tests avec l'expérience.*

C) Pour cela on commence par choisir *trois types de dactylographes* :

a) Un champion, qui écrit 176 mots en $2^{m}15^{s}$ avec trois fautes, soit, déduction faite des fautes, 173 mots « nets » : à la minute, 77 environ.

b) Un dactylographe moyen qui fait 176 mots en 9^m20^s avec treize fautes : à la minute, 17 1/2 environ.

c) Un mauvais, qui écrit la même phrase en 10^m3^s, mais avec tant de fautes que sa copie doit être jetée au panier.

On fait passer aux mêmes tests les trois catégories de dactylographes. L'hypothèse se trouve confirmée dans tous les cas, sauf pour les temps de réaction qui sont tout à fait indépendants du rendement de l'opérateur.

Nous garderons donc la formule suivante : les aptitudes nécessaires à un dactylographe sont : *une attention soutenue, une bonne mémoire visuelle immédiate des chiffres et des phrases, une sensibilité tactile et musculaire affinée, l'ambidextrie, et la lecture facile de l'écriture manuscrite.*

Ajoutons qu'aucune de ces aptitudes n'a de valeur isolée, mais *qu'on doit présenter un bon ensemble.*

Ce n'est là qu'un exemple. Actuellement des études se poursuivent dans des laboratoires annexés à des universités, à des hôpitaux, à des usines, à des offices d'orientation professionnelle, dans divers pays d'Europe, mais aussi en Amérique et même au Japon, et la question a été ou est étudiée par de nombreux auteurs comme Munsterberg, Piorkowski, Fontègne, Mourice, Froïs, etc...

Si important que soit ce mouvement, *il n'est pas à l'abri de la critique.* Il nous faut montrer à présent quelles en sont les *limites du point de vue scientifique*, mais aussi quelle est du *point de vue pratique, l'étendue de ses applications.*

1° Il semble manifeste qu'*un certain nombre de qualités morales qu'on exige dans n'importe quel emploi échappent à ces investigations rigoureuses.* Ainsi le dactylographe qui une fois sur vingt écrit sur une enveloppe « Nancy » au lieu de « Nice » ou « rue Gambetta » au lieu de « rue Carnot » est absolument inemployable, quelque virtuosité qu'il montre dans les précédentes épreuves. De même celui qui, ne sachant pas déchiffrer un mot sur un manuscrit

ou sur son bloc sténo, écrit n'importe quoi plutôt que de demander un renseignement. A plus forte raison celui dont l'attention est constamment distraite par des préoccupations « personnelles ». Les facteurs moraux sont, dans bien des professions, des facteurs dominateurs. A ne s'occuper que des aptitudes techniques, on ressemble au comptable qui se laisse hypnotiser par la décimale et ne voit par l'erreur des centaines. Il ne faut donc pas se laisser leurrer pas l'apparente rigueur de cette psychologie. Ses adeptes ont été dupes des succès que la mathématique a obtenus dans le monde physique et ils ont cru assez naïvement à l'essence mathématique des phénomènes de la vie. C'est toute la notion de science qu'il faudrait ici remettre en question. Nous avons donné quelques indications à ce sujet dans notre livre *Devoir et Durée* (Paris, Alcan, 1912), nous insérant par là dans la série des travaux d'Édouard Le Roy, Henri Poincaré, G. Milhaud, travaux auxquels préluda Pierre Duhem il y a plus de trente ans dans des mémoires célèbres qui furent publiés dans cette Revue. Ces réserves sont d'une importance capitale au point de vue scientifique ; elles montrent que *les mesures n'ont place que dans une partie de la psychologie, celle qui traite de l'homme considéré comme automate ;* une telle méthode réussira d'autant mieux qu'on s'occupera de métiers plus inférieurs ; elle sera de plus en plus vaine au fur et à mesure qu'on recrutera des employés pour les besognes supérieures, celles qui exigent une spontanéité plus originale, soit dans l'ordre de l'intelligence sous forme d'invention, soit dans l'ordre de l'activité sous forme de décision.

Mais si la science ou plutôt les sciences du type de la physique nous donnent, comme Édouard Le Roy et nous-même l'avons dit, moins une connaissance mathématique des choses que des moyens pratiques pour agir sur elles, ces modes de sélection, même s'ils s'appuient sur une analyse de l'âme fort artificielle, nous fourniront

d'excellentes recettes pour agir sur la plupart de nos réflexes ; c'est pourquoi le champ où ces méthodes peuvent pratiquement régner a une ampleur peut-être insoupçonnée par les premiers chercheurs. C'est ce que nous voudrions montrer brièvement.

2° *Le problème de la sélection professionnelle touche à celui de l'orientation professionnelle, à celui de l'éducation d'un personnel et à celui de la normalisation d'une besogne,* à tel point que les travaux entrepris pour les résoudre sont une importante contribution à la solution de ces trois nouveaux problèmes.

A. — *Les méthodes de sélection servent à l'orientation.* Il est à peine besoin de rappeler en quoi les deux problèmes se ressemblent et se séparent au moment même où on les pose.

Le problème de la sélection est posé *par un patron* qui connaît les 10 ou 20 aptitudes nécessaires pour occuper un poste et cherche dans une foule de candidats ceux qui les possèdent le plus complètement. C'est un problème *relativement aisé* et il est naturel que ce soit par lui qu'on ait commencé.

Le problème de l'orientation se pose *pour un enfant* à la veille d'entrer en apprentissage, ou, plus exactement, il se pose à ses parents et à ses maîtres. Mais *il est autrement compliqué* que le précédent ; ce n'est plus une vingtaine d'aptitudes qu'il faut considérer ; il faut s'enquérir de toutes les aptitudes de l'enfant, et non seulement de ses aptitudes présentes, mais encore d'autres qui ne se développent qu'avec l'âge, mais qu'un observateur habile peut voir en germe plusieurs années avant leur éclosion.

Le nombre de ces aptitudes est impossible à fixer ; plus l'analyse devient aiguë, plus on les voit augmenter. C'est ainsi que sous le mot « mémoire » on distinguera, d'un certain point de vue, une mémoire visuelle des objets concrets, une mémoire visuelle des signes typographiques,

une mémoire auditive des mots, une mémoire auditive des notes de musique, etc... ; d'un autre point de vue, on distinguera une mémoire brillante qui ne retient que pendant quelques secondes et une mémoire tenace qui retient pendant plusieurs jours ; d'un troisième point de vue, on séparera la simple mémoire qui reconnaît un signe présenté et la mémoire plus complète qui en reproduit l'expression, etc.

Théoriquement, le problème de l'orientation comprendrait donc plusieurs phases :

a) Faire une *analyse complète* des aptitudes physiques ou mentales d'un enfant.

b) La *confronter* avec les tableaux des aptitudes nécessaires à l'exercice de tous les métiers possibles, et, à la suite de cette comparaison, on trouverait qu'un enfant peut également réussir dans un certain nombre, mais dans un nombre limité de carrières.

c) Pour choisir entre elles, on ferait appel à des considérations d'un autre ordre : on étudierait, d'après des données d'ordre économique, les chances d'encombrement au bout de quelques années des différentes carrières et on déciderait naturellement pour celles qui seront le moins recherchées.

Enfin nous avons passé sous silence une quatrième série de *considérations qui sont toutes morales* : un enfant peut avoir toutes les chances de réussir dans une profession, mais son succès serait purement financier ; il y perdrait au moins sa moralité ; donc on ne tiendra compte qu'à moitié des indications de la science : bref, le problème de l'orientation se fondra dans le problème plus profond de la vocation.

Si nous restons sur un terrain plus positif, nous voyons que le problème de l'orientation serait pratiquement insoluble à cause de sa complexité, à moins qu'on ne réunisse les aptitudes en quelques grands groupes plus ou

moins bien définis, ainsi que nous l'avons fait par le questionnaire de 45 questions que nous avons donné au début de cette étude.

Cependant on peut tirer davantage de la méthode d'analyse que nous avons exposée à propos des dactylographes. En effet, l'orientation vers un métier déterminé, comme le métier de secrétaire commercial ou de chef comptable, pour rester dans ce qu'on nomme les métiers supérieurs, exige *des aptitudes complexes qu'on peut pratiquement décomposer en aptitudes élémentaires.* Ainsi, dans l'aptitude à la documentation dont un secrétaire commercial a absolument besoin, on trouverait une mémoire visuelle tenace des idées et des phrases, une rapidité de lecture des documents écrits, une faible fatigabilité dans l'exercice de cette besogne, etc.... Le chef de comptabilité, pour classer ses faits comptables, devra avoir une mémoire analogue et une semblable résistance à la fatigue, etc... Ce sont donc les mêmes aptitudes élémentaires qu'on exigera dans plusieurs professions en apparence très différentes ; mais elles y seront diversement combinées. Voilà ce qui simplifiera la tâche du père, du maître ou de l'office d'orientation. Nous pourrions même dire que cette analyse est beaucoup plus utile pour l'orientation que pour la sélection. En effet, un chef de bureau qui veut embaucher des dactylographes pourrait à la rigueur se contenter d'un examen de quelques heures où il ferait frapper sur une machine réelle les textes qu'il a couramment à faire copier, épreuve radicalement impossible à faire faire à un enfant qui cherche sa voie, puisque pour lui la question est précisément de savoir s'il a des chances de réussir en apprenant la dactylographie dont il ignore le premier geste. Ainsi des tests aussi analytiques que ceux que nous avons exposés sont indispensables au père, et ils ne sont nécessaires au patron que s'il destine son nouvel employé à des emplois plus élevés qui lui sont indiqués par ces tests eux-mêmes ; mais alors il ne fait plus une

sélection brutale en vue d'une utilisation immédiate, il se prépare à une véritable orientation vers des emplois plus élevés.

B. — Mais grâce à ces tests, nous voyons encore *s'établir le lien entre la sélection du personnel et son éducation.* En effet, parmi nos aptitudes, les unes sont *perfectibles*, les autres *imperfectibles.* Il est impossible d'en classer d'avance un certain nombre dans l'une ou l'autre de ces catégories ; on sait, par exemple, que l'aptitude à commander, qui dépend, entre autres facteurs, de la connaissance du milieu, se développe par l'exercice, mais que le sang-froid, qui tient surtout au régime du cœur-muscle, est impossible à cultiver. Cependant, parmi les aptitudes perfectibles, il en est *qu'on peut perfectionner chez certains individus beaucoup plus que chez d'autres.* Dans ce cas, autant d'individus, autant d'expériences. C'est dire que pour certaines qualités il n'y a point de tests qui renseignent en un jour comme le ferait une analyse de sang : *le vrai test résulte d'une éducation prolongée pendant un temps suffisant.*

Parmi ces qualités se trouve le sens de l'espace pour les téléphonistes. A cet égard des expériences ont été faites par M. A. Mourice, inspecteur des P. T. T. à Paris. L'épreuve consiste à placer la candidate devant un tableau d'un central qui contient 24 centaines de trous dans l'un desquels elle doit introduire un jack. Une fois qu'on tient le jack dans la main, pour le placer dans le trou convenable il faut un certain temps, qui au début est compris, suivant les opératrices, entre 2 et 20 secondes. Le dernier temps est beaucoup trop lent pour être acceptable, mais un peu d'exercice permet le plus souvent de le réduire. L'entraînement se fait en se conformant à un mode opératoire que M. Mourice a standardisé, que l'on enseigne dans une école dont la scolarité est de un mois et que l'on doit suivre scrupuleusement sans jamais chercher la vitesse. Grâce

à cet apprentissage, beaucoup de jeunes filles lentes arrivent à réduire le temps de l'opération de 20 à 10 secondes, tandis que les opératrices brillantes qui débutent à 2 secondes ne parviennent pas à changer leur vitesse qui est d'ailleurs excellente. On voit par là que le véritable test, c'est l'école elle-même ; c'est pourquoi nous avons eu raison de dire qu'à certains égards sélection appelle éducation.

C. — *Sélection appelle encore normalisation.* Il s'agit, bien entendu, de la normalisation des besognes en vue desquelles on choisit des employés. Le fait apparaît nettement dans de récentes expériences de M. Lahy sur la dactylographie. Pour se rendre compte du rythme de la frappe, il avait fixé au-dessous de chaque touche une aiguille qui, lorsque la touche était abaissée, plongeait dans un godet de mercure ; par là un circuit électrique se formait et l'on pouvait écrire sur un cylindre tournant les durées relatives des frappes et des intervalles entre les frappes. M. Lahy constata d'abord que les bonnes opératrices avaient des rythmes très réguliers, ce qui constituait, soit dit en passant, un nouveau test d'une grande valeur. Mais il alla plus loin : il remarqua que le temps de chaque frappe était généralement insignifiant par rapport aux intervalles entre deux frappes consécutives. Il s'ensuit que pour être une opératrice rapide, il faut réduire le plus possible ces intervalles; cela dépend en partie de dispositions naturelles ; mais cela résulte également d'une disposition générale. On a beaucoup discuté, par exemple, entre le procédé des cinq doigts et le procédé du doigt unique : ces discussions, le plus souvent, ne s'appuyaient sur aucun argument positif. Les expériences de M. Lahy permettent d'établir cette base. Elles permettaient peut-être encore de suggérer des améliorations à la construction du clavier. Nous n'avons pas, bien entendu, à entrer dans ces détails ; mais nous voulons au moins

signaler que *les études de psycho-physiologie entreprises en vue d'une simple sélection aboutissent souvent à normaliser une besogne ou même à normaliser un appareil.*

Enfin, faut-il rappeler *les résultats obtenus par la sélection, même lorsqu'elle ne sort pas de son domaine ?* Un seul exemple suffira entre cent. Pendant la guerre on a souvent choisi par ces méthodes les techniciens des nouvelles armes ou des armées improvisées. Dans l'aviation belge, sur la totalité des accidents, 80 % étaient dus à l'insuffisance des pilotes lorsqu'on les recrutait sans règle ; ce nombre tomba à 20 % dès qu'on eut fait usage d'un recrutement rationnel. Ce que nous disons des accidents peut se dire de la production normale : un homme physiologiquement et psychologiquement adapté à sa besogne peut produire jusqu'à deux ou trois fois plus. Mais en outre il produit avec plaisir : les aigris sont souvent des désadaptés : des expériences ont prouvé que les chefs des syndicats révolutionnaires étaient très souvent des ouvriers qui n'étaient pas faits pour le travail qu'ils avaient choisi : une bonne sélection sera donc ainsi un élément de paix sociale.

C'est pourquoi nous ne saurions trop attirer sur ce problème l'attention des chercheurs de laboratoire comme des chefs d'entreprise, sous réserve que la science de la sélection, si minutieuse qu'elle doive être, ne doit point avoir la superstition des précisions numériques ; nous sommes ici dans l'ordre humain et non dans l'ordre matériel, et il ne s'agit point de constituer une physique, mais une psychologie.

J. Wilbois,
Directeur de l'École d'Administration et d'Affaires.

———

VARIÉTÉS

I

ANTONIO FAVARO (1847-1922)

I

Issu d'une famille noble, qui se transporta, il y a trois siècles environ, de Trevignano à Padoue, Antonio Favaro naquit dans cette dernière ville de Joseph Favaro et de Catherine Turi, le 21 mai 1847 (1).

Joseph Favaro a laissé le souvenir d'un mathématicien distingué. Il mit de bonne heure son fils au gymnase de Padoue, où Antonio acheva ses études moyennes en 1865. L'écolier eut la bonne fortune d'y rencontrer un maître clairvoyant, Jacques Zanella, qui lui conseilla de prendre la voie des mathématiques. L'enseignement de cette branche était alors, à l'Université de Padoue, dans une de ses plus brillantes périodes, et Antonio put y suivre les leçons de Bellavitis et de Turazza. Lauréat en mathématiques à l'âge de 19 ans, il passa à l'École d'Application de Turin, d'où il sortit en 1869 avec le grade d'ingénieur.

Turazza n'avait pas perdu de vue son élève. A peine Antonio eut-il quitté l'École de Turin, que le Professeur de Padoue se l'attachait comme Assistant du Cours de Mécanique rationnelle. Bientôt après Turazza, se vit contraint à une absence prolongée. Ce fut pour la Faculté l'occasion de

(1) Les dates principales de cette notice sont empruntées à la *Celebrazione del cinquantesimo anniversario d'insegnamento del Prof. Antonio Favaro, nella R. Università di Padova.* Venezia, Istituto Veneto di Arte grafiche, 1920.

nommer Favaro suppléant du titulaire. Le nouvel élu donna sa première leçon de Mécanique rationnelle, le 7 juin 1870.

Il resta professeur suppléant de mécanique pendant deux ans ; mais, en mars 1872, il fut nommé professeur extraordinaire de Statique graphique. Cet avancement rapide fut suivi d'un temps d'arrêt. Favaro dut attendre dix ans avant d'être promu professeur ordinaire, les règlements de l'Université exigeant pour cette nomination qu'une place fût vacante.

A cette époque, tout pouvait faire croire que Favaro se ferait un nom dans la Géométrie moderne et qu'il continuerait l'œuvre des Poncelet, des Chasles, des von Staudt, des Möbius et des Crémona. Il nous a laissé un ouvrage important qui prouve ce qu'il eût été capable de devenir, s'il eût continué à marcher dans cette voie : je fais allusion à ses *Leçons de Statique graphique* (1). Écrites en italien à l'usage des élèves, elles furent presque aussitôt traduites en fançais, par Paul Terrier. L'édition française est en deux volumes, dont le premier, intitulé *Géométrie de position*, sert d'introduction au second, consacré au *Calcul graphique*. Les *Leçons* se distinguent par des qualités d'ordre et de clarté. Après plus de quarante ans écoulés, elles restent l'un des manuels les plus recommandables à ceux qui veulent s'initier à la Géométrie projective.

L'auteur fait précéder son travail par un Aperçu historique du développement de la Statique graphique, aperçu plein de bon sens et d'érudition. Une phrase perdue dans le texte pouvait donner à réfléchir (2). « Cédant à notre goût pour l'histoire des Sciences, disait Favaro, nous avons disséminé sous forme de Notes, dans le cours de notre travail, les renseignements qu'il nous a été donné de recueillir sur l'histoire particulière des diverses questions traitées. Nous serions heureux que cette innovation inspirât à la jeunesse

(1) *Leçons de Statique graphique*, par Antonio Favaro, Professeur à l'Université Royale de Padoue ; traduites de l'italien par Paul Terrier, ingénieur des arts et manufactures. Première partie: *Géométrie de Position*. Paris, Gauthier-Villars, 1879.

Leçons de Satique graphique... Deuxième partie : *Calcul graphique*. Paris... 1885.

(2) Première partie, p. XXXIV.

studieuse la curiosité des recherches historiques qui sont en si grande faveur de nos jours. »

Chez Favaro l'historien des sciences devait finir par éclipser le géomètre ; mais l'évolution fut lente, sans rupture ni même transition brusque ; on va le voir.

Minich, professeur à l'Université de Padoue, s'était retiré de l'enseignement, laissant vacante la chaire d'Analyse infinitésimale. Favaro l'obtint tout en conservant ses autres cours, mais ne l'occupa que quatre ans. Cependant, « cédant en cela de nouveau à ses goûts pour les recherches historiques », il avait ajouté à ses leçons obligatoires un cours libre consacré à sa branche favorite, l'histoire de la Science. L'entreprise n'alla pas sans difficulté, mais finit par réussir, et Favaro nous a raconté lui-même quels obstacles il eut à vaincre. C'est l'objet d'un article publié en 1887 dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA de M. Eneström (1).

Les noms de Galilée et de Favaro sont aujourd'hui si intimement associés, qu'on s'attendrait à voir l'immortel Pisan faire de prime abord l'objet principal des recherches du Professeur de Padoue. Il n'en fut pas tout à fait ainsi. C'est l'histoire de la Faculté padouane de mathématiques qui occupa en premier lieu Favaro (2). Mais Galilée est la grande gloire de cette Faculté. Sa personnalité resplendit avec un tel éclat, qu'elle absorba bientôt presque toute l'activité de l'historien. Si, depuis plusieurs siècles, on parlait beaucoup de Galilée, Favaro se convainquit peu à peu qu'on le connaissait mal, pour ne point dire qu'on ne le connaissait pas. Aussi, après un nombre surprenant d'articles et de mémoires préparatoires de tout genre (3), quelques-uns de grande envergure, se décida-t-il à entreprendre l'*Édition*

(1) *Otto anni d'insegnamento di Storia delle matematiche nella R. Università di Padova.* BIBLIOTHECA MATHEMATICA, ZEITSCHRIFT FÜR GESCHICHTE DER MATHEMATIK. Nouvelle série, t. I. Stockholm, Central-Tryckerie, 1887 ; pp. 49-54.

(2) Favaro a publié lui-même la liste des nombreux travaux (105 n^{os}) qu'il a consacrés à l'histoire de l'Université de Padoue. *Antonio Favaro. Per la Storia dello Studio di Padova. Autobibliografia.* ATTI DEL REALE ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. T. LXXXI. Venezia, Carlo Ferrari, 1922. 2e partie ; pp. 211-232.

(3) Voici les titres de trois d'entre eux choisis parmi les plus importants et les plus considérables par leur étendue :

Nationale des Œuvres de Galilée (1) ; travail immense, qu'il eut le courage et la chance peu commune de mener à bonne fin. Nous en parlerons plus en détail tantôt.

Dix-neuf ans s'écoulèrent entre l'apparition du premier et celle du vingtième et dernier volume (1890-1909). Aux yeux de ceux qui l'approchaient, l'éditeur semblait ne plus faire qu'un avec son héros. Il nous reste un témoignage original, mais touchant, de ce sentiment (2). Le 4 février 1907, Favaro célébrait les noces de son fils Giuseppe avec la comtesse Maria Dolphin. Les collaborateurs du Maître à l'*Edition Nationale* ne crurent pouvoir lui faire chose plus agréable, que de lui offrir une élégante plaquette contenant la réédition de quatre notices biographiques anciennes de Galilée devenues très rares. Ce petit recueil n'a pas seulement un mérite artistique, il vaut comme document. Les biographies dont il se compose ont un mérite intrinsèque et sont pour ainsi dire contemporaines de Galilée, mais elles ont néanmoins paru après sa mort. Par suite, elles sont exclues des pièces publiées dans le tome XIX de l'*Édition Nationale*. On peut regretter qu'elles aient été réservées à peu près exclusivement au petit cercle des amis de Favaro.

L'illustre éditeur était demeuré jeune et semblait devoir le rester éternellement. Le 4 juillet 1920, il célébrait cependant le cinquantième anniversaire de sa carrière professo-

Galileo Galilei e lo studio di Padova. Volumi due. Firenze. Successori Le Monnier, 1883.

Miscellanea Galileiana inedita. Studi e ricerche. MEMORIE DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. T. XXII. Venezia, Antonelli, 1887 ; pp. 701-1037.

Nuovi Studi Galileiani. Même recueil, T. XXIV, 1891 ; pp. 7-430.

(1) *Le Opere di Galileio Galilei. Edizione Nazionale sotto gli auspicii di S. M. il Re d'Italia*. Direttore Antonio Favaro. Coadiutore letterario, Isidoro del Lungo. Assistente per la cura del testo Umberto Merchesini. Firenze, G. Barbèra, 1890-1909.

(2) *Nozze Favaro-Dolphin. IV Febbraio MCMVII. — Antiche Vite di Galileo scritte da comtemporanei*. Firenze, Barbèra, 1907. In recordo del IV febbraio MCMVII buono, fausto, felice ad Antonio Favaro per le nozze del suo Giuseppe con la nobil fanciu la Maria dei conti Dolphin queste singolarita biografiche dedicano Isidoro del Lugi, Umberto Marchesini, Pietro Barbèra. Augusto Alfani, Arturo Venturi collaboratori suoi alle cure letterarie e tipografiche per l'Edizione Nazionale delle Opere di Galileo.

rale. Accourue nombreuse pour féliciter le jubilaire, l'assemblée le trouva toujours vert et plein d'entrain. Ce fut même probablement avec un peu d'affectation et sans grande sincérité, que le héros de la journée prononça la phrase finale de son discours de remerciement aux élèves et aux collègues qui l'entouraient : « Ave, Alma Mater, moriturus te salutat ! » (1) Il ne croyait pas dire si vrai. La mort le guettait et le foudroya peu de temps après dans une attaque d'apoplexie, à Padoue, le 30 septembre 1922. Dieu aura pitié de son âme et récompensera les services qu'il a rendus à l'Église par ses travaux sur Galilée. L'incomparable Pisan en sort grandi, mais, comme Favaro l'écrit quelque part, les querelles religieuses qui s'élèveraient encore autour de ce nom retentissant, ne pourraient plus passer désormais aux yeux des savants que pour des chicanes byzantines.

Pie XI appréciait l'*Édition Nationale*. Il avait connu Favaro de près pendant de longues séances passées ensemble dans les Bibliothèques italiennes. A la nouvelle du décès, il envoya, par l'entremise du Cardinal secrétaire d'État, un télégramme particulièrement affectueux à la famille.

Favaro avait exprimé, dans son testament, le désir formel que les divers corps savants auxquels il appartenait s'abstinssent de toute manifestation officielle. Cette volonté fut respectée, mais n'empêcha pas les marques de sympathie privées, parfois touchantes, de se faire jour.

J'oubliais de dire ci-dessus, que lorsque l'*Édition Nationale* fut achevée, le Gouvernement Belge envoya à Favaro la croix de commandeur de l'Ordre de Léopold, en témoignage d'estime et d'admiration pour l'œuvre accomplie.

II

Sous le titre de *Quarante ans d'Études galiléennes* (2), Favaro lui-même a publié, en 1916, la bibliographie de

(1) *Celebrazione del cinquantesimo anniversario*, etc. Ringraziamento del Prof. Favaro, p. 30.

(2) Favaro a donné à trois reprises la bibliographie de son œuvre galiléenne :

Vent'anni di studi galileiani. Firenze-Roma, Bencini, 1896. Con-

ses travaux sur Galilée. Leur énumération ne compte pas moins de 215 numéros, d'importance d'ailleurs très diverse. Plusieurs sont de simples articles de revue ; mais, en revanche, les vingt forts volumes in-4° de l'*Édition Nationale* sont signalés sous le seul n° 61.

En tête de la bibliographie se lit une « Introduction » de quelques pages, dans laquelle l'auteur raconte les vicissitudes de son entreprise, les difficultés que rencontra l'*Édition Nationale*, son succès final, les publications qui resteraient néanmoins encore à faire pour vulgariser l'œuvre de Galilée. Je traduis cette espèce d'autobiographie, mais assez librement, tantôt en l'abrégant un peu, tantôt en y ajoutant l'un ou l'autre détail. Il m'a paru sans intérêt d'indiquer chaque fois, par de nouveaux guillemets, les modifications que j'apportais au texte italien.

« Dès le début de mes recherches sur l'histoire des sciences, dit Favaro, je m'étais imposé, comme règle fondamentale, de remonter toujours aux sources, et de refuser crédit à tout ce que je n'aurais pu vérifier de mes propres yeux. Guidé par ce principe, je m'aperçus dès les premiers pas dans mes études galiléennes qu'à l'aide des éditions existantes, les travailleurs ne pouvaient se former qu'une idée incomplète et inexacte de ce qui concernait la vie et les œuvres de l'immortel philosophe.

» Mon but a donc été de leur fournir un recueil réunissant tous les documents qui se rapportent à Galilée de quelque manière que ce soit, et de leur donner une édition complète et définitive de ses *Œuvres*. Cette édition contiendrait toutes les pièces, peu importe où le hasard des circonstances les aurait dispersées ; elle serait conduite de manière à ne laisser

tient 100 numéros. Cette première bibliographie a conservé de la valeur, car après chaque mémoire, Favaro a ajouté la liste des comptes rendus qui en ont été donnés. Plusieurs de ceux-ci sont signés par des savants de valeur dont il est intéressant de connaître l'appréciation.

Per la Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galileisotto gli auspicii di S. M. il Re d'Italia. Trent'anni di studi galileiani per Antonio Favaro. Firenze, Barbèra, 1907. Contient 160 numéros.

Quarant'anni di studi galileiani (1876-1915). ATTI DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI ; t. LXXIV, Venezia, Carlo Ferrari, 1916, 2e part., pp. 1615-1658. Contient 215 numéros.

en définitive aux manuscrits de Galilée que la valeur inestimable qu'ils conserveront toujours comme autographes.

» Pour atteindre ce but élevé, il fallait avant tout modifier mes opinions ; changer mes idées acquises et contrôler, par l'étude des documents, l'exactitude de ce qu'on m'avait enseigné. J'entrepris donc, non sans grands sacrifices personnels, des recherches systématiques, dans les Dépôts d'Archives et les principales Bibliothèques de l'Italie et de l'Étranger. Au cours de ces investigations, je publiai les résultats qui me paraissaient les plus propres à faire comprendre l'objet de mon entreprise, et dans un mémoire présenté en 1881, au Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti (1), je précisai le projet que j'avais formé de donner une édition critique complète des Œuvres de Galilée.

» Dès lors, usant et abusant sans cesse de la complaisance des éditeurs, de l'hospitalité des collections de plusieurs corps savants, de la publicité de nombreux recueils périodiques, je fis paraître de multiples travaux puisés aux sources tant italiennes qu'étrangères, mais surtout à la Bibliothèque Nationale de Florence. Je prouvai ainsi à l'évidence l'importance de mon projet d'édition.

» Mais l'initiative privée d'un éditeur paraissait — à tort, je crois — ne pouvoir suffire à la publication d'un ouvrage qui requérait un concours de moyens si nombreux et si divers. Force me fut donc d'en appeler à l'aide du Gouvernement. Les pourparlers furent longs et pénibles. Mais après une dure série de tentatives infructueuses, l'appui que je sollicitais me fut enfin accordé avec toute l'ampleur désirable. L'Arrêté Royal qui décréta formellement la nouvelle édition fut signé le 20 février 1887. Les termes dans lesquels il est conçu honorent à la fois le ministre qui proposa l'entreprise, le roi qui la prit sous son haut patronage, le grand savant objet d'un honneur si éminent, et aussi l'homme qui, par dix ans d'études, avait démontré la nécessité de l'édition.

« Considérant, dit l'Arrêté Royal, que les recherches et les travaux de ces dix dernières années relatifs à la vie et aux

(1) *Intorno ad una nuova edizione delle opere di Galileo.* ATTI DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. 5e série, t. VIII, Venezia, Antonelli, 1881 ; pp. 83-131.

écrits de Galilée, permettent désormais d'entreprendre dignement une édition critique et complète de ses œuvres ; considérant qu'il est d'un suprême honneur national de satisfaire ainsi au long souhait des savants, en élevant un monument nouveau et durable à la gloire du génie merveilleux qui créa la philosophie expérimentale... etc. »

» Il fut décidé que l'édition serait entreprise aux frais du gouvernement et qualifiée du titre d'*Édition Nationale.*

» Dès avant la fin de l'année, on publiait le *Projet* qui me confiait la direction de l'entreprise. Sa teneur fut scrupuleusement respectée tant pour le fond que pour la forme. Le premier volume parut en 1890. Puis, poussée sans relâche ni interruption, l'édition comptant vingt volumes s'acheva, dans l'espace relativement court de vingt ans. Les huit premiers contiennent les œuvres scientifiques ; le neuvième les œuvres littéraires ; les neuf suivants la riche correspondance. On pouvait croire l'*Édition Nationale* achevée après la publication du dix-neuvième volume. Celui-ci contenait la collection de tous les documents relatifs à Galilée, depuis l'acte de mariage de ses parents, jusqu'à celui de l'inhumation de Galilée lui-même à Sainte-Croix. C'était la première fois qu'un auteur classique était l'objet d'un travail analogue à celui qui composait ce volume. La plupart des documents qu'il renfermait étaient ou tout à fait inédits, ou avaient été édités pour la première fois par moi. C'est une collection riche et d'une valeur inappréciable pour la biographie de Galilée. Parmi les pièces publiées se trouvent notamment celles du *Procès* (1) éditées ici intégralement pour la première fois. Les portes, jusquel à impénétrables, du Saint-Office nous furent ouvertes pour pouvoir mener à bon terme cette publication.

» L'*Édition Nationale* reçut un complément définitif dans le vingtième volume qui contient, entre autres, des Index très développés, tant des noms propres que des principaux sujets traités. L'un de mes collaborateurs prenant le devant avait eu l'intrépidité d'y mettre la main. J'eus le courage de l'affronter à mon tour, quoique la longueur du chemin que j'avais parcouru eût épuisé le meilleur de mes forces.

(1) T. XIX, pp. 272-421.

» On sait l'accueil favorable, incontesté, qui fut fait au gigantesque travail de l'*Édition Nationale* et je ne m'en vante pas. Je voudrais néanmoins, en témoignage de gratitude, rappeler que l'aide littéraire d'Isidore del Lungo me fut acquise de prime abord. Elle me donna l'assurance que, dès les premières pages, la critique des textes ne laisserait rien à désirer.

» Au fur et à mesure que les volumes de l'*Édition Nationale* voyaient le jour, je les *étayais*, pour ainsi parler, de publications nombreuses, où je cherchais à justifier ce qui était donné dans l'*Édition* elle-même. Le plan adopté pour l'ouvrage ne permettait pas d'y insérer ces preuves, car il prohibait les digressions et commentaires.

» Les savants qui s'intéressent à Galilée ne seront cependant pas fâchés, j'espère, de connaître les travaux par lesquels j'ai préparé et exécuté l'*Édition Nationale*. J'en donne donc ci-après la liste. Elle contient les titres de mes notes, publications de textes et mémoires, accompagnés des indications bibliographiques nécessaires.

» Sans doute, l'*Édition Nationale* est terminée. Je me propose toutefois, de me consacrer encore jusqu'à mon dernier soupir à ce sujet magnifique. On le conçoit, l'homme qui a consacré les meilleures années de sa vie à l'exécution d'un grand dessein, ne saurait s'en détacher sans peine avant de lui avoir donné une perfection pour ainsi dire inespérée.

» Je suis particulièrement heureux de pouvoir constater que les recherches ultérieures publiées pendant les six années écoulées depuis la mise au jour du dernier volume de l'*Édition Nationale*, ne m'y ont signalé aucune lacune notable. Quand mes successeurs mettront la main à une nouvelle édition — en vue de laquelle je continue à travailler (1) — ils devront reconnaître que la préparation nécessaire ne m'a pas manqué, et que j'ai publié l'*Édition Nationale* avec

(1) *L'Édition Nationale* est un ouvrage de luxe réservé aux Bibliothèques des Universités et des corps savants. Favaro caressait le projet de la faire servir à la publication d'une autre édition, mais d'allure plus modeste, qui fût à la portée de toutes les bourses. Voir : *Serie ventesimaseconda dei Scampoli Galileiani raccolti dal Antonio Favaro*. ATTI E MEMORIE DELLA R. ACCADEMIA DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI IN PADOVA. Nouv. série, t. XXIX. Padova, Randi, 1913, pp. 29-36. — N° CXLII. *Per una nuova edizione delle opere di Galileo.*

une conscience si grande de la haute mission qui m'était confiée, qu'il sera peut-être possible de l'égaler, mais difficile de la surpasser.

» Et puisque le suprême réconfort que m'eût donné la nouvelle édition à laquelle je viens de faire allusion, m'est refusé, il faudra y éviter le seul reproche qu'on puisse faire à l'*Édition Nationale* ; je veux dire, celui de ne pouvoir être largement répandue dans le public.

» Je ne veux pas prononcer mon *nunc dimittis* avant d'avoir donné un travail synthétique d'ensemble sur Galilée (1). J'en ai réuni les éléments. Il fera l'objet de tous mes efforts, et remplira les années qui me restent encore à vivre. »

Cette Introduction est datée de Padoue et du 21 mai 1915.

III

Il m'eût été impossible de peindre aussi bien que Favaro l'ensemble de son œuvre, mais il me reste néanmoins à faire ressortir quelques détails du tableau laissés nécessairement un peu dans l'ombre. La chose sera aisée, grâce aux nombreux mémoires par lesquels l'éditeur a « étayé », pour parler comme lui, l'*Édition Nationale*.

Voici d'abord le dix-neuvième volume, contenant, nous l'avons entendu, tous les documents relatifs à Galilée. C'est le plus intéressant pour la plupart des lecteurs. L'impression en commença vers 1899, en même temps que celle du tome X, premier de la Correspondance. Écoutons comment Favaro s'exprime dans l'Introduction (2) :

(1) Favaro n'a pas eu le temps de réaliser ce projet, mais il a donné le *Regesto biografico Galileiano dalla Edizione Nazionale delle Opere* per cura di Antonio Favaro. Firenze, Barbèra, 1907. C'est une brochure in-4° de 69 pages donnant, comme le titre l'indique, la date de tous les faits de la vie de Galilée dont on a gardé le souvenir, avec le renvoi aux passages correspondants de l'*Édition Nationale*. Aucune notice biographique ni vie de Galilée ne saurait remplacer le *Regesto*, quand on veut s'orienter dans l'étude de l'histoire si mouvementée de l'illustre astronome. Le *Regesto* est une espèce de tableau synoptique où les faits sont disposés dans l'ordre chronologique.

(2) Avvertimento, p. 7.

« Je puis répéter aujourd'hui, dit-il en substance, comme je l'écrivais au commencement du tome X, que notre édition n'est pas la reproduction de ce qu'on savait déjà. C'est même plus qu'un simple complément, c'est une œuvre nouvelle. Nous osons l'affirmer en toute confiance, car personne ne s'était encore avisé d'entreprendre un travail analogue à celui du présent volume. Nous pourrions le nommer *Codex Galilei.* »

Favaro répète ensuite que beaucoup de pièces du XIXe volume y sont publiées pour la première fois et qu'il serait même exact de dire que le volume entier est neuf, du moins en ce sens, que les pièces y sont toutes données en recourant aux sources, sans distinguer celles qui étaient encore inédites et celles qui avaient déjà paru ailleurs. Puis il continue : (1)

« Pour l'intelligence, tant de la Correspondance que des Documents, nous avons cru devoir mettre en tête du volume, un arbre généalogique de la famille de Galilée. Les dates et renseignements divers qu'il contient seront complétés plus tard par les notices biographiques des personnes citées » (2).

Les pièces du volume sont groupées, par sujets, en 45 chapitres, dont beaucoup sont divisés et subdivisés en d'autres. Plusieurs embrassent une longue période d'années. Les groupes se succèdent néanmoins dans l'ordre chronologique, en datant chacun d'eux par la pièce la plus ancienne qu'il renferme.

En vue de faciliter les recherches, et conformément au plan suivi dans la Correspondance, les pièces sont imprimées en trois caractères différents. Le plus grand est utilisé pour les documents qui proviennent de la main de Galilée lui-même et pour ses dépositions devant les tribunaux. Il fut adopté, dans les précédents volumes, pour les écrits et les lettres de l'auteur. Le caractère moyen est employé pour les documents qui ne sont pas l'œuvre de Galilée, mais le concernent directement. Telles étaient dans la Correspondance les lettres qui lui étaient adressées. Enfin le petit

(1) Avvertimento, p. 7.
(2) Elles ont été données dans le vingtième volume.

caractère est réservé aux pièces qui n'ont avec Galilée qu'un rapport éloigné. Telles étaient, de nouveau dans la Correspondance, les lettres où il était simplement question de lui.

De tous les chapitres du dix-neuvième volume, le plus captivant, le plus important est sans contredit celui du *Procès*. La publication de ce chapitre me rapporte à vingt ans en arrière, en me rappelant un cher et lointain souvenir. C'était en 1903. Favaro venait de donner au public le douzième volume de l'*Édition Nationale* renfermant la Correspondance des années 1614 à 1619. Ce volume contenait donc les lettres de l'année 1616 pendant laquelle se déroula le premier Procès. Les documents du tome XIX s'imprimant en même temps que les lettres de la même date, le bon-à-tirer du Procès était donné dès 1902. Favaro eut alors l'idée d'en faire un tirage à part très restreint (1) de trente exemplaires réservés aux érudits qui étudiaient plus spécialement Galilée. Le hasard m'en donna connaissance. Mon regretté confrère le P. van Ortroy, S. J., avait souvent rencontré Favaro dans les bibliothèques italiennes, où il s'était lié d'amitié avec lui. J'aperçus un jour le tiré-à-part du Procès sur la table de travail du Père et je lui proposai d'en rendre compte dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (2). L'offre fut acceptée et Favaro eut l'amabilité de se montrer satisfait de mon travail. Les remerciements qu'il m'adressa ouvrirent entre nous une correspondance, qui ne fut interrompue que par la guerre, mais pour reprendre aussitôt après. Aujourd'hui que mon vieil ami n'est plus, j'éprouve le besoin de rendre ce témoignage à son amitié.

Revenons au procès de Galilée. Favaro nous a fait entendre que la publication des pièces de cette cause célèbre n'alla pas sans peine. Dans d'autres circonstances il a été plus explicite que dans l'autobiographie que j'ai traduite ci-dessus, et il s'est plu à raconter au long les difficultés que rencontrèrent aussi bien les premiers éditeurs que celles

(1) *Il processo di Galileo*. Estratto dal Vol. XIX della Edizione Nazionale delle *Opere di Galileo Galilei*. Edizione di trenta esemplari. Firenze, Barbèra, 1902.

(2) *La nouvelle édition des pièces du Procès de Galilée, par A. Favaro.* REVUE, t. LIII, avril 1903, pp. 578-598.

qu'il eut encore lui-même (1). J'en ai fait l'objet principal de mon article de 1903 et j'y renvoie le lecteur. Il suffira de rappeler, que les documents du Procès de Galilée se composent de deux catégories de pièces bien distinctes : celles des *Décrets* et celles du *Procès* proprement dit.

Les *Décrets* contiennent les procès-verbaux des séances, les arrêts du Saint-Office et autres documents analogues. Le *Procès* se compose des pièces de conviction, des résumés des dépositions et des plaidoiries, etc. ; il renferme, si l'on veut, l'analyse des débats.

Le *Procès* proprement dit était connu depuis longtemps. Lors de la prise de Rome sous le premier Empire, Napoléon en avait fait transporter le manuscrit de Rome à Paris et en avait ordonné la publication. Mais beaucoup de pièces sont griffonnées, pleines d'abréviations et partant à peu près indéchiffrables. Barbier, que Napoléon avait chargé de l'édition, en désespéra et cette première tentative finit par échouer. Après lui, d'autres furent plus heureux. Henri de l'Épinois (2), Dominique Berti (3) et Charles von Gebler (4) donnèrent des éditions du *Procès* de moins en moins défectueuses. Favaro vint les porter à la dernière perfection.

Pour les *Décrets*, la difficulté était d'un autre genre. Comme Favaro nous l'a dit ci-dessus, toute recherche était interdite dans les Archives de l'Inquisition et le manuscrit des *Décrets*

(1) *Antonio Favaro. I documenti del Processo di Galileo.* ATTI DEL REALE ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. T. LXI, Venezia, Ferrari, 1902 ; 2e part., pp., 757-806.

A. Favaro. Napoleone e il Processo di Galileo. REVUE NAPOLÉONIENNE, dirigée par Albert Lombroso. T. II. Frascati (province de Rome) aux bureaux de la REVUE NAPOLÉONIENNE, 1902, pp. 2-14.

(2) *Les pièces du procès de Galilée précédées d'un avant-propos. Ouvrage dédié à S. G. Mgr de la Tour d'Auvergne, Archevêque de Bourges*, par Henri de l'Épinois. Paris, Palmé, 1877.

(3) *Domenico Berti. Il processo originale di Galileo Galilei.* Nuova edizione accresciuta, corretta e preceduta da un'avvertenza. Roma, Voghera Carlo, 1878.

Le titre fait allusion à une édition fragmentaire donnée antérieurement par Berti : *Il processo originale di Galileo Galilei pubblicato per prima volta da Domenico Berti.* Roma, Cotta, 1876.

(4) *Die Acten des Galileischen Processes. Nach der Vaticanischen Handschrift herausgegeben von Karl von Gebler.* Stuttgart, Cotta, 1877.

s'y trouvait. Quand l'éditeur en demanda la communication au cardinal Parrochi, gardien du dépôt, celui-ci lui répondit d'un ton poli, mais qui ne permettait pas d'insister, que les Archives ne possédaient rien, absolument rien sur l'affaire de Galilée. C'était la formule diplomatique employée d'ordinaire en pareille circonstance. Cependant Favaro savait, à n'en pas douter, qu'elle était inexacte et que les *Décrets* se conservaient aux Archives. Silvestre Gherardi, ministre de l'éphémère République romaine de 1848, profitant de sa position, avait pénétré dans les Archives du Saint-Office et y avait eu en mains le registre des *Décrets ;* il en avait fait des extraits qu'il avait publiés plus tard (1). Favaro se décida donc au seul parti qui lui restait à prendre : recourir directement à Léon XIII. Le Pontife avait des idées trop larges pour répondre par un refus. Il accorda largement toutes les autorisations nécessaires et l'*Édition Nationale* nous donna enfin au complet toutes les pièces relatives au Procès de Galilée.

Après avoir lu ces documents si curieux, il est difficile de ne pas éprouver un regret : c'est qu'ils n'aient pas été édités plus tôt. Aucun tribunal, la chose va de soi, ne saurait permettre au public de venir, par curiosité, fouiller dans ses Archives. Il est presque toujours malsain de remettre au jour les scandales des procès oubliés et le secret s'impose. La règle traditionnelle du Tribunal de l'Inquisition est donc fort sage ; mais il faut savoir gré à Léon XIII d'en avoir fait un instant fléchir la rigueur. Galilée n'y a pas perdu et bien des accusations portées contre ses adversaires fussent tombées d'elles-mêmes si l'on avait connu les pièces du Procès au moment où on les proférait.

IV

Il est impossible de donner une idée même sommaire des publications de tout genre que Favaro mit au jour en marge

(1) *Il processo di Galileo riveduto sopra documenti di nuova fonte dal prof. com. Silvestro Gherardi.* La Rivista Europea. Nouv. sér., t. I. Firenze, Tipografia dell'Associazione, 1870, pp. 1-37. Les documents sont publiés en appendice de l'article.

Gherardi les avait déjà donnés, en partie, l'année précédente dans

de l'*Édition Nationale*. Il y a, par exemple, la *Correspondance de Jean Antoine Magini avec Tycho Brahé, Kepler et d'autres célébrités scientifiques des XVI*e *et XVII*e *siècles* (1) ; petit chef-d'œuvre par lequel Favaro semble avoir voulu montrer au public et au gouvernement italien ce qu'il serait capable d'exécuter si on daignait le charger d'éditer l'Œuvre de Galilée. Il y a les *Scampoli Galileiani* (2) ou Bribes Galiléennes, qui après le vingt-quatrième fascicule changèrent de titre et devinrent les *Adversaria Galileiana* (3). C'est une collection de petites dissertations détachées, toujours curieuses, parfois vraiment importantes, dont Galilée est le centre, mais qui n'ont pas d'autre lien entre elles. Il y a la série des *Amici e Corrispondenti di Galileo Galilei* (4), composée de quarante monographies d'étendue assez inégale. Comme le titre le fait prévoir, elles ont toutes le caractère commun de nous présenter les personnages au point de vue des relations qu'ils eurent avec Galilée. Il y a la série parallèle des *Oppositori di Galileo* (5) à peine commencée et encore en plein cours de publication. Il y a plus de cent publications relatives à l'histoire de la Faculté des Mathématiques de l'Université de Padoue (6). Il y en a vingt-sept autres qui se

les RENDICONTI DELLE SESSIONI DELL' ACCADEMIA DELLE SCIENZE DELL' ISTITUTO DI BOLOGNA, per l'anno 1868-1869, pp. 100-101.

(1) *Carteggio inedito di Ticone Brahe, Giovanni Kepler e di altri celebri astronomi e matematici dei secoli XVI e XVII con Giovanni Antonio Magini, tratto dal Archivio Malvezzi de' Medici in Bologna.* Nicolas Zannichelli, 1886.

(2) Ils parurent dans les ATTI E MEMORIE DELLA R. ACCADEMIA DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI IN PADOVA, de 1886 à 1914, et renferment cent cinquante-quatre petites dissertations.

(3) Les cinq premières séries parurent, dans le même recueil, de 1918 à 1920, et contiennent trente-trois petites dissertations. J'ignore s'il en existe davantage.

(4) Ces biographies, tout en étant numérotées de 1 à 40, ont paru dans des recueils divers. Il est assez surprenant que celle de Torricelli y fasse défaut. Comme j'en faisais un jour l'observation dans une de mes lettres à Favaro, il me fit entendre qu'il avait des raisons particulières pour ne pas écrire cette notice. Je crois qu'il voulait en laisser l'honneur aux éditeurs des *Œuvres de Torricelli*.

(5) Cinq biographies au moins ont paru.

(6) Énumérées dans *Per la storia dello studio di Padova*, cité ci-dessus.

rapportent à Léonard de Vinci (1). Il y en a sur Cavalieri (2), sur Bombelli (3), sur divers savants italiens et étrangers, anciens et modernes, que sais-je? Pour montrer d'une manière un peu plus précise la méthode de l'auteur, parcourons rapidement quelques articles intéressant plus spécialement nos provinces. Peut-être permettront-ils de deviner l'intérêt de ceux que je passe sous silence.

Il faut rappeler, d'abord, que Favaro connaissait la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES et qu'il l'appréciait. Il témoigna un jour l'estime qu'il avait pour elle en lui envoyant la monographie de François Blondel (4). Blondel, architecte célèbre, est, on le sait, l'auteur des plans de la Porte Saint-Denis à Paris. Il écrivit des ouvrages de mérite relatifs à son art. D'autre part, on ignore, généralement, qu'ingénieur et géomètre, il se vantait d'être le dernier disciple de Galilée. Favaro croit cependant qu'il ne connut jamais personnellement le Maître de Florence, mais il était lié d'amitié avec Vincent Viviani, dernier confident du grand astronome. Peut-être Blondel eût-il été mieux avisé de se

(1) La liste en est donnée dans l'ARCHIVIO STORICO DELLA SCIENZA, t. III, Roma, Casa editrice « Leonardo da Vinci », 1922, pp. 19-20 ; à la suite de l'article de C. B. de Toni intitulé : *Antonio Favaro e gli studi su Leonardo.*

(2) Il y a notamment : *Bonaventura Cavalieri nello Studio di Padova.* ATTI E MEMORIE DELLA R. DEPUTAZIONE DI STORIA PATRIA. 3e série, t. VI, Bologna, presso la R. Deputazione di storia patria, 1888 ; pp. 120-177.

Bonaventura Cavalieri e la Quadratura della spirale. RENDICONTI DEL R. ISTITUTO LOMBARDO DI SCIENZE E LETTERE. 2e série, t. XXXVI. Milano, Rebeschi di Turati, 1905, pp. 358-372. Les travaux de Cavalieri sur la spirale sont intéressants à comparer avec ceux de Grégoire de Saint-Vincent.

Amici e Corrispondenti di Galileo Galilei. XXXI. Bonaventura Cavalieri. ATTI DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI ; t. LXXIV, Venezia, Ferrari, 1915 ; 2e part., pp. 701-767.

(3) Je fais surtout allusion à l'article où Favaro démontre que la célèbre *Algèbre* de Bombelli n'a eu qu'une seule édition, mais deux tirages avec des titres différents datés de 1572 et de 1579. *Intorno ad una pretesa seconda edizione dell' Algebra di Rafael Bombelli. Nota di Antonio Favaro.* BIBLIOTHECA MATHEMATICA. Nouvelle série, t. VII. Stockholm, Eneström, 1893, pp. 15-17.

(4) *François Blondel et ses études sur les « Nuove Scienze » de Galilée.* REVUE, t. LXXIV, 1913, pp. 353-380.

qualifier simplement du titre de continuateur de Galilée. Il fut le premier à signaler une erreur de son illustre Patron touchant le profil qu'il faut donner aux poutres d'égale résistance.

La notice de François Blondel se distingue par cette richesse de documentation, ce soin méticuleux du détail qui caractérisent tous les écrits sortis de la plume de Favaro. Je la recommande à l'attention du lecteur, car je crains qu'elle ne soit pour lui une occasion trop rare de pouvoir apprécier le prix des articles de mon si regretté Favaro. Il faut le constater avec regret, le plus grand nombre de ses notes et mémoires ont paru dans des recueils italiens peu accessibles au public belge.

François Blondel était né en Picardie, mais Michel Coignet qui attira à plusieurs reprises l'attention de l'Éditeur de Galilée, était anversois. Favaro s'occupa une première fois de lui dans un article intitulé *A propos du Compas de Proportion* (1). Le compas dont il s'agit dans le titre est celui de Galilée ; mais Coignet en avait imaginé un autre dont Favaro donne la photographie d'après un manuscrit de la Bibliothèque Royale de Belgique (2). L'année suivante, l'auteur revint à Coignet en lui consacrant la vingt-deuxième monographie de ses *Amici e Corrispondenti di Galileo Galilei* (3). Il a été rendu compte en détail de ces deux articles dans la REVUE, lors de leur apparition (4).

En 1906, Favaro publiait dans la dix-septième série des *Scampoli Galileiani* (5) une lettre d'Erycius Puteanus à

(1) *Per la storia del compasso di proporzione.* ATTI DEL REALE ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI, t. LXVII. Venezia, Ferrari, 1908 ; 2e part., pp. 725-739.

(2) Ms. II, 79.

(3) *Amici e Corrispondenti di Galileo Galilei, XXII. Michele Coignet.* ATTI DEL REALE ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI, t. LXVIII, Venezia, Ferrari, 1909, 2e part., pp. 1-16.

(4) Dans mes *Bulletins d'Histoire des Mathématiques*, REVUE, t. LXIV, oct. 1908, pp. 653-657, et t. LXVI, oct. 1909, pp. 644-647.

(5) *Serie decimisettima dei Scampoli Galileiani raccolti da Antonio Favaro*, ATTI E MEMORIE DELLA R. ACCADEMIA DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI IN PADOVA. Nouv. sér., t. XXIII, Padova, Randi, 1907. N° CXIV. *Una lettera di Ericio Puteano a Michele van Langren ;* pp. 17-21.

Michel Florent van Langren, dans laquelle le Professeur de Louvain s'occupait de Galilée. L'astronome belge était peu maître de la langue de Cicéron, et le brillant latiniste Puteanus lui écrivait en flamand. Le fragment de la lettre relatif à Galilée est publié à sa date dans l'*Édition Nationale* (1), mais la pièce est donnée en entier avec une traduction italienne dans les *Scampoli*.

Nommons, pour mémoire, la correspondance de Galilée avec les États-Généraux de Hollande, touchant sa méthode des longitudes, dont les États eussent désiré s'assurer la propriété (2). Terminons, enfin, par quelques notes sur l'application du pendule aux horloges.

A qui revient l'honneur de cette invention ? Est-ce à Galilée ? Est-ce plutôt à Huygens ? La question paraît avoir préoccupé Favaro. Dans le tome XIX de l'*Édition Nationale* (3) il a publié une longue lettre de Viviani qui se rapporte à ce sujet, et suivant sa méthode habituelle il a discuté tous les documents dans un mémoire spécial (4). Favaro y plaide la cause de Galilée. On pouvait s'y attendre. Mais le problème a été mal posé et les éditeurs des *Œuvres de Christiaan Huygens* en portent la faute. « Jamais, disent-ils dans une note, Galilée n'a songé à adapter ou à appliquer le pendule aux horloges » (5). Affirmation inexacte, Favaro n'a pas de peine à le montrer.

Mais Huygens lui-même est beaucoup moins affirmatif que ses éditeurs. « Si Galilée a eu l'idée d'appliquer le pendule aux horloges, ce qu'il ne conteste pas, dit-il, en tout cas lui, Huygens, l'ignorait » (6). On doit le croire sur parole, et

(1) T. XVI, Firenze, Barbèra, 1906 ; p. 121. Lettre n° 2974.

(2) Voir en outre le dossier des pièces relatives à cette affaire, dans le tome XIX, pp. 538-459. N° XLII. *Galilei e gli Stati Generali delle Provincie Unite dei Paesi Bassi.*

(3) Pp. 647-659. *Lettera di Vincenzio Viviani al principe Leopoldo de Medici intorno all' applicazione del pendolo all' orologio.*

(4) *Galileo Galilei e Christiano Huygens. Nuovi documenti sull'applicazione del pendolo all' orologio*, RIVISTA DI FISICA, MATEMATICA E SCIENZE NATURALI, t. XXVI. Firenze, Stabilimento tipografico S. Giuseppe, 1912, pp. 3-20.

(5) *Œuvres complètes de Christiaan Huygens publiées par la Société Hollandaise des Sciences*, t. VII. La Haye, Martinus Nijhoff, 1897, p. 281, n. 2.

(6) De nombreuses pièces des tomes II et III des *Œuvres complètes*

on n'a pas de raison de douter de sa sincérité. Mais il importe de remarquer que le génial Hollandais n'attacha d'importance à cette invention qu'à partir du jour où, ayant découvert les propriétés de la cycloïde, il trouva le moyen théorique de rendre les oscillations du pendule rigoureusement isochrones. Voilà, comme le remarque excellemment l'historien de l'horlogerie Berthoud (1), l'incomparable titre de gloire de Huygens. Ce dernier peut bien sans déchoir laisser à Galilée l'honneur d'avoir vu le premier que le pendule pourrait servir un jour à régulariser les mouvements d'horlogerie, et d'en avoir essayé une application grossière. Jadis j'écrivis un article en ce sens dans la REVUE (2) et j'eus la satisfaction de voir peu après M. Favaro appuyer de son autorité cette solution du problème (3).

Arrêtons-nous.

En résumé, pendant toute sa carrière, Favaro s'est montré chercheur perspicace, érudit peu ordinaire et consciencieux, travailleur infatigable. Il aimait passionnément Galilée. Peut-on lui en faire un crime ? Sans doute, sa susceptibilité s'effarouchait un peu vite quand on semblait vouloir ternir si peu que ce soit, ne fût-ce qu'indirectement et de loin, l'éclat de son idole. Jamais cependant, son admiration pour le Pisan ne l'aveugla. Jamais, elle ne l'empêcha de convenir de la réalité d'une parole ou d'un fait défavorable à Galilée quand la chose était démontrée. La publication des pièces du Procès de Galilée, par exemple, est un modèle d'impartialité. Mais, qui donc soutiendrait aujourd'hui que les adversaires du système de Copernic furent toujours modérés et sans passion ? Peut-on en vouloir à Favaro, de le leur

de Christiaan Huygens sont relatives à cette affaire. Voir, par exemple, la lettre du 22 janvier 1660 écrite par Huygens à Ismaël Boulliau, t. III, pp. 12-13.

(1) *Histoire de la mesure du temps par les Horloges*, par Ferdinand Berthoud, t. I. Paris, De l'Imprimerie de la République, An X, pp. 102-103.

(2) *Galilée ou Huygens? A propos d'un épisode de la première application du pendule aux horloges.* REVUE, t. LXXII, 1912, pp. 573-685.

(3) *Serie ventesimaterza di Scampoli Galileiani raccoltei da Antonio Favaro.* ATTI E MEMORIE DELLA R. ACCADEMIA DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI IN PADOVA, t. XXX, Padova, Bardi, 1914, pp. 61-66. N° CXLVII. *Galilei oppure Huygens?*

reprocher, dans ses *Oppositori di Galileo*, et d'y mettre le ton d'une juste sévérité ? (1)

En un mot, après Paul Tannery, après Pierre Duhem, le monde a perdu dans Antonio Favaro, l'un des derniers grands historiens de la science. On me pardonnera d'ajouter que j'ai toujours rencontré en lui un correspondant dévoué, un critique judicieux, un ami loyal et fidèle. Une dernière fois, que Dieu lui accorde l'éternelle récompense méritée par une longue vie de travail employée tout entière à la recherche de la vérité !

H. Bosmans.

II

LES GÉNÉRATRICES DE COURANT DANS LES GRANDES STATIONS MODERNES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL (2)

Les premières applications de la télégraphie sans fil ont été faites au moyen d'oscillations électriques amorties

(1) Dans la série des *Oppositori di Galileo*, Favaro n'a pas eu le temps d'écrire la notice du cardinal Robert Bellarmin. Ce grand homme, que Pie XI vient de placer sur les autels, n'aimait pas le système de Copernic. loin de là, la chose est connue. Mais, on sait aussi combien il fut toujours modéré et bienveillant dans les remarques qu'il fit sur ce sujet à Galilée. L'illustre astronome eut tort, croyons-nous, de ne tenir aucun compte des observations que le cardinal lui faisait sur la valeur des hypothèses dans les sciences physiques quelles qu'elles soient ; car, comme Duhem le dit, à notre avis, fort bien : au point de vue philosophique, c'est le cardinal qui voyait juste. (*Sur la notion de Théorie physique de Platon à Galilée*, par Pierre Duhem, correspondant de l'Institut, Paris, Hermann, 1908, p. 140.) Galilée se serait épargné bien des déboires, s'il avait défendu le système de Copernic avec la modalité que Bellarmin l'engageait à y apporter et qui est au fond celle qui tend de plus en plus à prévaloir de nos jours : dans toute théorie physique, il faut choisir l'hypothèse la plus commode et celle qui représente le mieux le phénomène.

(2) La Vie Technique et Industrielle, 1922, nos 32-33-34-35-36.

provoquées par la décharche d'un condensateur dans un circuit oscillant. Actuellement ce dispositif est complètement abandonné et on l'a remplacé par l'emploi d'oscillations entretenues beaucoup plus avantageuses. Elles permettent, en effet, une syntonie très aiguë des postes récepteurs, une sensibilité de réception plus grande et seules elles ont rendu possible la radiotéléphonie. On peut les obtenir par l'arc chantant, les alternateurs à haute fréquence ou les lampes à 3 électrodes. Dans les grandes stations d'émission que nous aurons plus particulièrement en vue dans ce qui va suivre, on n'utilise guère, jusqu'à présent, que les deux premiers moyens cités. Il est fort probable que sous peu on y emploiera également les lampes à trois électrodes qui ne sont présentement utilisées comme génératrices d'ondes que dans les postes de petite et de moyenne puissance.

I. *Arc oscillant.* — On a constaté qu'en dérivant sur un arc alimenté par du courant continu un circuit comportant un condensateur et une bobine de self montés en série, il devient le siège d'oscillations électriques entretenues. Ce fait est dû à ce qu'il se produit constamment de petites variations dans l'intensité du courant de l'arc qui entraînent de légères modifications dans la valeur de la tension entre ses électrodes. Il s'ensuit que le condensateur dérivé se charge et se décharge sans interruption dans le circuit formé par l'arc et la self-induction, créant ainsi les ondes entretenues.

En fait, l'arc est ainsi le siège de deux courants : l'un, le courant continu de la dynamo qui l'alimente, l'autre, alternatif, dû au circuit oscillant. Suivant la nature des électrodes et les valeurs relatives de l'amplitude du courant alternatif et du courant continu, on peut distinguer trois modes de fonctionnement différents.

I. — L'intensité du courant continu est supérieure à l'amplitude du courant alternatif : Le courant dans l'arc ne pouvant dès lors s'annuler, il n'y aura pas d'extinction aussi longtemps que l'arc est alimenté. On obtient dans le circuit oscillant un courant alternatif non amorti à peu près sinusoïdal ; mais l'énergie mise en jeu est faible, ce qui fait que ce mode de fonctionnement est fort peu employé.

2. — L'intensité du courant continu est inférieure à l'amplitude du courant alternatif et l'une des électrodes de l'arc est en charbon tandis que l'autre est métallique. Dans ces conditions, le courant dans l'arc s'annule quand l'intensité du courant alternatif est égale et de signe contraire à celle du courant continu. L'arc s'éteint, et ne se rallume que quand la tension entre électrodes a repris une valeur suffisante. On a alors des périodes d'allumage correspondant à un courant sensiblement sinusoïdal dans le circuit dérivé suivies de périodes d'extinction où le condensateur est chargé par le courant continu de la dynamo. C'est le cas normal pour l'emploi de l'arc en télégraphie sans fil. Les meilleures conditions sont obtenues quand l'amplitude du courant alternatif n'est que légèrement supérieure à l'intensité du courant continu et la période d'extinction courte par rapport à celle d'allumage.

3. — Les mêmes conditions que ci-dessus, mais avec les deux électrodes de l'arc en métal. Dans ce cas, par suite de l'ionisation des gaz entre les électrodes, l'arc se rallume immédiatement en sens inverse après l'extinction. Si à un moment donné la tension devient trop faible pour assurer la reprise instantanée de l'arc, les oscillations sont interrompues et ne recommencent que quand la dynamo a chargé suffisamment le condensateur pour que ce dernier en assure le réallumage. On obtient par ce procédé des trains d'oscillations amorties mais d'une fréquence notablement plus élevée que dans le cas d'un simple circuit oscillant. Ce mode de fonctionnement de l'arc est employé par Moretti et Von Leppel.

Actuellement on fait surtout usage pour la production d'ondes entretenues de l'arc de *Poulsen* qui fonctionne suivant le deuxième mode exposé et permet de réaliser des fréquences supérieures à 50 000 par seconde. L'arc de *Duddel*, qui lui est antérieur, était une application du premier cas et ne pouvait donner que des fréquences inférieures à 10 000.

L'arc de *Poulsen* a été breveté en 1902 par les professeurs Poulsen et Pedersen de Copenhague (Danemark), mais ce n'est qu'en 1909 que ce système a pris de l'extension grâce à Elwel qui en avait acheté les brevets pour toute l'Amérique et commença par construire deux stations en Californie.

L'anode de l'arc de *Poulsen* est constituée par un tube de cuivre avec circulation d'eau destinée à le refroidir. La cathode est en charbon. L'arc éclate en vase clos dans une atmosphère de gaz hydrocarburé formée soit par du gaz d'éclairage, soit au moyen d'alcool ou de pétrole lampant suintant goutte à goutte d'un godet spécial. Un soufflage magnétique effectué par deux électro-aimants dont les enroulements sont intercalés dans le circuit d'alimentation de l'arc empêche le réallumage immédiat de celui-ci par ionisation après rupture. Le courant continu est fourni à une tension généralement comprise entre 500 et 1000 volts. L'antenne de capacité variable est directement reliée à l'arc. Pour l'émission, on court-circuite une partie de la self-d'antenne pendant les intervalles des signaux. On travaille donc, de par ce fait, avec deux longueurs d'onde, l'une utile correspondant aux signaux et l'autre dite de retour, pendant les intervalles. A la réception on fait le réglage de manière à ne recevoir que l'onde utile. L'inconvénient de ce procédé est la nécessité d'avoir en permanence deux ondes différentes. Aussi, a-t-on proposé de le modifier en substituant un circuit de compensation à l'antenne pendant l'intervalle des signaux. Quand, le manipulateur est au repos, il relie alors l'arc à ce circuit.

Le professeur Pedersen a apporté tout dernièrement un perfectionnement important à l'arc de Poulsen. Un étrier en cuivre, refroidi par une circulation d'eau, repose sur la cathode en charbon à une faible distance du bord actif. Lorsque l'arc atteint l'étrier, il est obligé de s'éteindre et d'autre part il est maintenu entre les points les plus rapprochés des électrodes, ce qui améliore beaucoup son fonctionnement, comme des oscillogrammes permettent de s'en rendre compte.

L'arc Colin-Jeance est basé sur les mêmes principes généraux que celui de Poulsen ; il n'en diffère qu'en ce qu'il comporte plusieurs arcs en série dans une enveloppe étanche, au lieu d'un seul, qu'il ne possède pas de champ magnétique de soufflage et présente d'une façon permanente une résistance de réglage dans le circuit d'alimentation. Il a été surtout appliqué en radiotéléphonie.

A la tour Eiffel il y a deux arcs alimentés sous 900 volts,

chacun d'une puissance de 60 kilowatts dans l'antenne. Ils sont munis du dispositif Laut qui utilise un champ de soufflage indépendant du courant principal et fait usage d'un circuit oscillant auxiliaire de compensation à courte longueur d'onde.

A Lyon, dans les premières années de la guerre, on a installé deux arcs identiques à ceux de la tour Eiffel. Par la suite, les ayant jugés insuffisants, on les a remplacés par deux arcs de 350 à 450 kilowatts pouvant chacun mettre dans l'antenne une puissance de 120 à 150 kilowatts.

La station Lafayette de la Croix d'Hins près Bordeaux possède deux arcs de 400 à 500 kilowatts, de dimensions très supérieures à tout ce qui a été fait jusqu'ici. A Nantes, il y a deux arcs Elwell, genre Poulsen, mettant chacun 100 kilowatts dans l'antenne. Les nouvelles stations anglaises de Leafield et du Caire sont également pourvues d'arcs, mais les résultats obtenus n'ont pas été brillants.

Aux États-Unis la station d'Annapolis est équipée avec des arcs analogues à ceux installés à La Croix d'Hins.

2. *Alternateur à haute fréquence.*

Actuellement, on observe dans les différents pays une tendance très nette et bien marquée à abandonner les arcs au profit des alternateurs à haute fréquence. Ceux-ci sont nouveaux-venus sur le marché et ce n'est que depuis relativement peu de temps que les constructeurs de machines électriques sont arrivés à surmonter les difficultés techniques qui s'opposaient à leur réalisation. Cependant, dès 1890, Tesla avait déjà réussi à établir un alternateur de 10 000 à 12 000 périodes par seconde mais d'une puissance d'un kilowatt seulement. Plus tard, en 1907, Fessenden réalisait une génératrice à 60 000 périodes par seconde dont la puissance ne s'élevait qu'à 250 watts. Peu après, des perfectionnements constructifs lui permirent de porter la puissance à 2,5 kilowatts et la périodicité à 75 000 par seconde. Vers 1909, l'ingénieur américain Alexanderson présentait un modèle d'alternateur de 2 kilowatts à 100 000 périodes. En 1913, il est parvenu à établir deux modèles, l'un de 50, l'autre de 200 kilowatts, pour des fréquences respectives de 50 000 et de 20 000 par seconde. Entre 1910 et 1914, Gold-

schmidt en Allemagne, Marius Latour, Bethenod, etc., en France, étudièrent des machines dont la puissance va jusque 500 kilowatts et la fréquence de 15000 à 20000 périodes par seconde. L'alternateur n'a commencé à présenter un réel intérêt en radiotélégraphie que le jour où l'on s'est décidé à faire usage de grandes longueurs d'onde, ce qui permettait d'abaisser notablement la fréquence nécessaire. Il est, en effet, presque impossible de réaliser à la fois une machine d'une fréquence très élevée et d'une puissance suffisante.

Les machines employées actuellement peuvent se classer en trois catégories différentes. Ou bien elles donnent directement la fréquence demandée, c'est le cas des types Alexanderson et Bethenod, ou bien elles fonctionnent avec des transformateurs statiques spéciaux qui multiplient la fréquence relativement basse qu'elles produisent, solution employée par la compagnie Telefunken, ou bien encore elles sont basées sur la mise en résonnance d'une harmonique d'ordre supérieur, système étudié principalement par Goldschmidt. L'alternateur à haute fréquence est toujours intercalé directement dans le circuit antenne-terre que l'on accorde sur sa fréquence. Nous passerons rapidement en revue les principales solutions proposées, en indiquant leurs caractéristiques essentielles.

L'alternateur Alexanderson est du type homopolaire (1) à fer tournant. Le rotor est formé d'un simple disque d'acier de dimension renforcée au moyeu et portant une fine denture sur sa périphérie. Les intervalles entre les dents sont remplis par un métal non magnétique, tel que le bronze phosphoreux, afin de diminuer l'effet de la résistance de l'air qui est considérable à la vitesse élevée de la machine : 2170 tours par minute. L'alternateur fait partie d'un système complet d'émission très employé en Amérique pour les stations à grande portée et comportant en outre de la génératrice, un transformateur, un régulateur de vitesse, un amplificateur magnétique et une antenne spéciale. Le but du transformateur est d'éliminer les différences importantes de tension qui pourraient se présenter entre les diverses sections de l'induit

(1) On appelle ainsi les machines où le flux d'induction ne change pas de sens, mais varie seulement d'intensité.

qu'il rend électriquement indépendantes les unes des autres. L'amplificateur magnétique permet sans formation d'arc la transmission des signaux à très grande vitesse, jusque 500 mots à la minute. Quant à l'antenne, elle est munie de prises de terre multiples en vue d'augmenter son rendement. L'importante installation de Newbrunswick aux États-Unis comporte un alternateur Alexanderson de 200 kilowatts. L'antenne horizontale de ce poste a 1500 mètres de longueur, 180 mètres de largeur et 120 mètres de hauteur

On a cherché à obtenir de hautes fréquences en couplant plusieurs machines identiques en cascade et en alimentant leur inducteur par le courant alternatif produit par la génératrice qui la précède dans le montage. Si d'une façon générale on dispose de n machines susceptibles chacune de produire un courant alternatif de fréquence f par ce procédé, la dernière fournira un courant de périodicité égale à nf. M. Bethenod a construit en 1912 le premier modèle de groupe de ce genre. Il utilisait quatre machines en cascade et obtenait dans la dernière une fréquence de 24 000 périodes par seconde avec une puissance voisine d'un kilowatt.

Les alternateurs à haute fréquence de la *Société Française Radio-électrique*, fabriqués par la Société Alsacienne de Constructions électriques de Belfort et qui sont dus aux travaux combinés de MM. Bethenod et Marius Latour, reposent sur un principe différent. Si on superpose dans un même circuit n forces électromotrices identiques périodiques, mais non sinusoïdales, déphasées l'une par rapport à l'autre d'un angle $\frac{2\pi}{n}$, leur somme est à chaque instant nulle ainsi que celle de leurs harmoniques 2, 3, 4, etc... n-1, mais pour l'harmonique d'ordre n elles se superposent, et l'amplitude de la résultante est égale à n fois celle de l'harmonique considérée L'utilisation de l'harmonique de rang n conduit à disposer sur l'induit n pôles en regard de chacun de ceux de l'inducteur. Pour réaliser cette construction on utilise un alternateur à fer tournant dont le rotor constitué par une pièce massive en acier forgé, porte à sa périphérie des tôles d'acier, soigneusement émaillées, de 5 à 9 centièmes de millimètre d'épaisseur suivant la fréquence, jouant le rôle de pôle et que n'entoure aucun bobinage. Le stator comporte

un simple enroulement en zig zag avec un seul conducteur par encoche. Pour les grandes puissances, il est divisé en plusieurs sections afin qu'en aucun cas il ne devienne le siège d'une tension élevée par rapport à la masse. Chacune de ces sections est couplée par induction avec l'antenne. Le manipulateur met normalement l'alternateur en court-circuit. L'émission se fait en le reliant à l'antenne de manière que la machine ne débite effectivement que pendant la durée très courte des signaux, disposition qui permet de réaliser une économie d'énergie considérable.

L'alternateur est entraîné par un moteur à courant continu et les deux machines rigidement couplées sont portées par un socle commun. Un régulateur maintient constante la vitesse du groupe et permet de faire varier la fréquence, donc la longueur d'onde, si on le désire. Ces machines sont actuellement construites en quatre modèles différents correspondant à des puissances de 25, 50, 250 et 500 kilowatts. Les deux derniers modèles possèdent un système de refroidissement par circulation d'huile et ont leur rotor qui tourne dans une atmosphère légèrement raréfiée. La pression y est maintenue à la valeur de 200 millimètres de mercure qui, après essais, a été reconnue comme étant la plus favorable au rendement. La vitesse périphérique n'excède pas 150 mètres par seconde. Le stator porte deux enroulements, l'inducteur et l'induit. Le premier se compose d'une ou de deux bobines annulaires alimentées par du courant continu à 110 ou 220 volts. L'autre, comme nous l'avons dit, est disposé en zigzag dans les encoches à raison d'un conducteur par rainure. L'entrefer varie de 0,5 millimètre pour les petites machines à 1 millimètre dans les grandes. Ces alternateurs sont couplés avec l'antenne par l'intermédiaire de deux bobines plates de quelques spires dont il est facile de faire varier la self-induction et l'induction mutuelle de façon à faire donner à la génératrice toute sa puissance quelles que soient les caractéristiques de l'antenne sur laquelle elle travaille.

La mise en parallèle de deux machines à haute fréquence constitue une opération délicate et difficile à réaliser à cause de la réduction du pas polaire (1). La Société Française

(1) On nomme ainsi la distance des axes de deux pôles de noms contraires voisins.

Radio-Électrique a tourné la difficulté en rendant solidaires au point de vue électrique seulement et non mécaniquement, les parties tournantes des deux alternateurs que l'on veut utiliser simultanément, ce qui permet d'obtenir une synchronisation parfaite à toute charge.

En vue de pouvoir faire simultanément plusieurs émissions avec une seule antenne, celle-ci est ordinairement divisée en plusieurs sections ou nappes isolées les unes des autres et alimentées chacune par un alternateur distinct. Pour éviter alors les effets d'induction mutuelle des parties d'antenne les unes sur les autres, on les monte en série avec des selfs réglables permettant d'annuler ou tout au moins de réduire à une très faible valeur les forces électromotrices qui pourraient prendre naissance. En pratique, cette disposition permet de maintenir le courant dû à l'induction mutuelle à une valeur qui ne dépasse pas 1 à 2 dixièmes du courant inducteur.

En France, les principales stations utilisant des alternateurs à haute fréquence sont : le poste de Lyon qui possède un alternateur d'une puissance de 200 kilowatts dans l'antenne, mais, cette dernière étant insuffisante, on ne peut dépasser 150 kilowatts ; le poste de Bordeaux (Croix d'Hins) qui doit recevoir prochainement un alternateur capable de mettre une puissance de 500 kilowatts dans l'antenne ; enfin, le poste de Saint-Assise, près Melun. Ici la station d'émission transcontinentale comportera deux alternateurs pouvant mettre chacun 500 kilowatts dans l'antenne et deux de 250 kilowatts. En faisant fonctionner les quatre machines en parallèle, il sera possible de disposer d'une puissance totale de 1500 kilowatts dans l'antenne. La station continentale de Saint-Assise possède quatre alternateurs de 25 kilowatts dans l'antenne, permettant d'effectuer soit une seule transmission avec une puissance variant de 12 à 100 kilowatts, soit simultanément deux transmissions avec des puissances comprises entre 12 et 50 kilowatts.

Au lieu de faire usage d'alternateurs donnant directement la haute fréquence désirée, on peut construire des machines donnant des fréquences moyennement élevées, telles que 10 000 périodes par seconde, et doubler la fréquence une ou deux fois à l'aide de transformateurs statiques spéciaux.

Ceux-ci, connus sous le nom de doubleurs de fréquence, ont été imaginés il y a plusieurs années déjà par M. de Joly, qui en avait pris un brevet. Malheureusement, à cette époque, ils ne présentaient guère d'utilité. En voici le principe : Soient deux transformateurs statiques ordinaires dont les primaires sont montés en série ainsi que les secondaires et dont les deux noyaux magnétiques sont polarisés en sens inverse par un troisième enroulement parcouru par du courant continu de façon qu'ils se trouvent saturés. Dans ces conditions, à la première alternance du courant primaire le flux ne varie presque pas dans le premier transformateur, à cause de la saturation, alors que la variation est considérable dans le second polarisé en sens inverse. Le contraire se produit à la deuxième alternance, de manière qu'à chaque alternance du courant primaire, le flux subit une modification dans l'un des deux transformateurs dont les secondaires deviennent donc le siège d'un courant induit de fréquence double de celle du courant d'alimentation.

Le poste de Sayville aux États-Unis est pourvu d'un alternateur de 250 kilowatts à 12 500 périodes et de trois doubleurs de fréquence en cascade. La station allemande de Nauen équipée par la Compagnie Telefunken, utilise elle aussi des doubleurs statiques de fréquence. Elle possède trois alternateurs homopolaires couplés avec des transformateurs de fréquence permettant d'émettre sur quatre longueurs d'onde respectivement de 16 800, 12 600, 8 400, et 6 300 mètres. Deux de ces alternateurs peuvent mettre chacun une énergie de 400 kilowatts dans l'antenne et le troisième 130 kilowatts. On y dispose, en outre, d'un émetteur à étincelles de 100 kilowatts. L'inconvénient des transformateurs de fréquence est leur grand encombrement et le faible rendement total de l'installation ; il ne dépasse pas 50 %, alors qu'il atteint 75 % avec les alternateurs à haute fréquence. D'autre part, ces transformateurs spéciaux introduisent par le fait même de leur présence toute une série d'harmoniques. Pour faire disparaître celles-ci et ne conserver que la fréquence voulue, on est obligé d'utiliser des batteries de condensateurs mettant les secondaires en résonnance pour la fréquence désirée. Cependant, malgré toutes les précautions, certaines harmoniques subsistent toujours et diminuent le rendement de l'antenne.

La régulation des groupes Telefunken est tout à fait médiocre ; ce système ne permet pas l'emploi de bonnes réceptions sélectives et antiparasites. Les variations de longueur d'onde du poste de Nauen atteignent 2 pour cent, alors que celles du poste de Lyon ne sont pas supérieures à un pour mille.

On peut évidemment adjoindre des doubleurs de fréquence aux alternateurs à haute fréquence et par ce moyen réaliser une périodicité très élevée. Jusqu'à présent cela n'a pas été fait, car on n'en a pas reconnu l'utilité, mais l'on voit que, théoriquement, il n'y a pas de limite à la fréquence des courants que l'on peut produire.

Dans l'alternateur Goldschmidt on utilise les harmoniques d'ordre supérieur d'une génératrice à périodicité moyennement élevée, que l'on amplifie par résonnance. Son fonctionnement est basé sur le principe suivant : Considérons un alternateur monophasé dont le stator alimenté par une source de courant continu, mais formé d'un bobinage uniformément réparti, induit dans les enroulements du rotor un courant alternatif de fréquence f. Celui-ci crée un champ pulsatoire que l'on peut décomposer en deux champs tournant en sens inverse dont la vitesse est celle de rotation de la machine. Celui qui tourne dans le même sens que l'induit se déplace, par rapport au stator, avec une vitesse double et y engendre donc des courants de fréquence $2f$. L'autre champ reste fixe dans l'espace, puisque sa vitesse est égale et opposée à celle du rotor et ne donne lieu, par conséquent, à aucun effet d'induction.

Le courant induit de fréquence $2f$, dans le stator, produit à son tour un champ alternatif que l'on peut décomposer en deux champs tournant en sens inverse à une vitesse double de celle de l'induit. Celui qui se déplace dans le même sens que celui-ci y donne naissance à des courants de fréquence $2f + f = 3f$, tandis que l'autre conduit à une fréquence $2f - f = f$. Par le mécanisme expliqué ci-dessus, le courant de fréquence $3f$ dans le rotor donnera lieu à un courant de fréquence $4f$ dans le stator qui produira à son tour un courant de fréquence $5f$ et ainsi de suite. On s'arrange pour que le courant de fréquence nf que l'on veut utiliser soit mis en résonnance dans son circuit qui est relié à l'an-

tenne. En somme, dans ce système, l'élévation de la fréquence se fait par induction mutuelle entre l'inducteur et l'induit. Le principal inconvénient de ces machines, est que leur rendement décroît quand le rang de l'harmonique utilisée s'élève, à cause de la totalisation des pertes dues aux harmoniques inférieures. Aussi, en pratique, on ne dépasse pas 4*f* et c'est généralement sur la périodicité correspondante que l'antenne est accordée. La première génératrice de ce type a été construite en 1910. Sa puissance, qui était de 12,5 kilowatts pour une fréquence de 30 000 par seconde, descendait à 9 kilowatts pour une périodicité double.

L'alternateur Goldschmidt est employé à la station allemande de Eilvese (Hanovre). La fréquence de base de 10 000 périodes y est portée à 40 000 par le mécanisme expliqué ci-dessus. Il peut mettre 160 kilowatts dans l'antenne et a assuré, pendant la guerre, le service transatlantique de ce poste. Aux États-Unis, à Tuckenton, il existe un alternateur identique.

Si l'on compare, pour l'emploi dans les grandes stations d'émission, l'alternateur à l'arc, on constate que le premier a sur le second l'avantage de travailler sans onde de compensation, de demander moins de soins d'entretien et de donner des ondes plus régulières. Par contre, l'alternateur exige une constance très grande de la vitesse que l'on ne peut obtenir qu'avec des régulateurs fort précis, il est assez coûteux à cause de sa construction délicate et de la vitesse élevée à laquelle il doit fonctionner. Il paraît, cependant, qu'à l'heure présente on estime que ses avantages l'emportent sur ses inconvénients car, pour les postes nouveaux, on lui donne généralement la préférence sur l'arc. Ce dernier n'est d'ailleurs pas approprié au trafic d'outre-mer et ne convient pas pour la téléphonie sans fil.

MAURICE DEMANET,
Ingénieur civil.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

ASTRONOMIE. — 1922

(*) SOMMAIRE. — *Coopération internationale* : le Congrès de Rome de l'Union astronomique internationale ; le Bureau international de l'heure. — *Physique solaire* : la constante solaire et la période des taches ; courants solaires ; le Soleil étoile variable ; taches invisibles ; l'ionisation de l'atmosphère solaire. — *Physique stellaire* : étoiles à raies chromosphériques ; températures stellaires ; pression dans les atmosphères stellaires ; l'ionisation dans les atmosphères stellaires ; étoiles naines et étoiles géantes. — *Système stellaire* : distances des étoiles ; les coordonnées galactiques ; J. C. Kapteyn ; la structure de l'univers. — *Diamètres stellaires*: mesure interférentielle du diamètre angulaire des étoiles. — *L'Astronomie et la Relativité* : confirmations astronomiques de la Relativité ; la déviation des rayons lumineux dans le voisinage du Soleil observée pendant l'éclipse du 20 septembre 1922.

Coopération internationale

En mai 1922 s'est tenu à Rome le premier Congrès de l'*Union astronomique internationale* fondée à Bruxelles en

(*) *Abréviations bibliographiques.* — R. Q. S. = Revue des Questions scientifiques (Louvain). — C. R. = Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris. — B. A. MÉM. = Bulletin astronomique, 2me série, mémoires et variétés (Paris). — PR. R. S. = Proceedings of the Royal Society, Series A, Mathematical and Physical Sciences (Londres). — M. N. = Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Londres). — OBS. = The

juillet 1919 (1). La plupart des commissions de l'Union se sont réunies et des rapports ont été présentés. Ces rapports, les discussions auxquelles ils ont donné lieu et les conclusions adoptées viennent d'être publiés (2) ; ces travaux seront signalés, lorsqu'il y aura lieu, au cours de cette Revue. — Le Comité exécutif de l'Union se compose actuellement de W. Campbell (Harvard), président, — V. Cerulli (Rome), W. De Sitter (Leide), H. Deslandres (Meudon), S. Hirayama (Tokyo), S. Hough (Cape Town), vice présidents, — A. Fowler (Londres), secrétaire général. — Les pays qui ont adhéré jusqu'ici (juin 1923) sont l'Afrique du Sud, l'Australie, la Belgique, le Brésil, le Canada, le Danemark, l'Espagne, la France, la Grande-Bretagne, la Grèce, l'Italie, le Japon, le Mexique, la Norvège, la Pologne, le Portugal, la Roumanie, la Suisse, la Tchéco-Slovaquie et les États-Unis.

Observatory (Londres). — P. M. = Philosophical Magazine (Londres). — APH. J. = The Astrophysical Journal (Chicago). — A. S. W. = Pro- ceedings of the National Academy of Sciences (Washington). — A. S. PAC. = Publications of the Astronomical Society of the Pacific (San-Francisco). — A. N. = Astronomische Nachrichten (Kiel). — ROME, voir ci-dessous, deuxième note.

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 2), p. 255 (p. 7 du tiré-à-part).

(2) *Transactions of the International Astronomical Union*, vol. I, *First General Assembly held at Rome*... may 1922, publié par A. Fowler, secr. gén. Ce volume sera désigné dans cette chronique par l'abréviation ROME. — Des trente-deux commissions, six ont été supprimées ou absorbées par d'autres : 2, réédition d'ouvrages anciens ; 10, radiation solaire ; 11, spectro-hélio-enregistreurs des vitesses ; 13, expéditions astronomiques ; 21, comètes ; 32, réforme du calendrier. — A la demande de G. Lecointe (Uccle), le Bureau central des télégrammes astronomiques a cessé d'avoir son siège à Uccle ; il a été transféré à Copenhague et placé sous la direction de E. Strömgren. — Les recherches concernant la variation des latitudes (commission 19) seront dirigées par une commission mixte constituée partiellement de membres de l'Union géodésique et géophysique internationale et dont l'administration sera entre les mains de la section de Géodésie de cette dernière association. — L'Union géodésique et géophysique internationale a tenu aussi son premier Congrès à Rome en mai 1922 : sections de géodésie, sismologie, météorologie, magnétisme et électricite terrestres, océanographie physique, vulcanologie.

Bureau international de l'heure. — Parmi les commissions de l'Union internationale, la commission de l'heure occupe une situation particulière (1). Elle résulte de la transformation de l'*Association internationale de l'heure*, créée à Paris en 1913 au cours d'une réunion à laquelle 32 États s'étaient fait représenter, à l'invitation du gouvernement français. Cette Association devait assumer les charges du Bureau international de l'heure dirigé par B. Baillaud et dont la Tour Eiffel était la station émettrice des signaux de T. S. F. La guerre empêcha la réalisation de ce programme ; le Bureau de l'heure n'en fonctionna pas moins à la charge de l'Observatoire de Paris, jusqu'en 1919, où l'Union astronomique internationale, dès sa fondation, l'adopta. G. Bigourdan en est aujourd'hui le directeur. Le Bureau international a pour objet : en ce qui concerne les signaux ordinaires, de centraliser les résultats des déterminations de l'heure universelle qui lui seront transmis par les centres horaires nationaux, et de communiquer ces résultats aux stations émettrices et aux centres nationaux ; en ce qui concerne les signaux scientifiques, de centraliser les déterminations de l'heure faites dans les observatoires associés et d'en déduire l'heure la plus exacte (2).

Physique solaire

La constante solaire et la période des taches. — Vers 1840, Pouillet donna le nom de *constante solaire* à la quantité de

(1) ROME, principalement pp. 110, 230.

(2) B. Baillaud, Mme Chandon, M. Pourteau, Mme Michaud, *Rapport relatif aux signaux émis de l'Observatoire de Paris par le poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel*, Paris 1922, et B. A. MÉM., t. 2 (1922-1923). — G. Bigourdan, *Rapport annuel sur les travaux effectués par le Bureau international de l'heure en* 1920, B. A. MÉM., t. I(1920-1922), p. 189; *Correction des signaux horaires, tant normaux qu'occasionnels, émis, observés ou enregistrés par le Bureau international de l'heure*, même vol., pp. 229, 359 ; *Les services horaires de l'Observatoire de Paris et le Bureau international de l'heure, histoire, description et fonctionnement*, étude commencée dans B. A. MÉM., t. 2 (1922-1923), p. 379. — H. Philippot et F. Moreau, *Note sur la détermination de l'heure*, M. N., t. 82 (1921-1922), p. 201.

chaleur, exprimée en petites calories, que le Soleil enverrait par minute, sous l'incidence normale, sur une surface d'un centimètre carré située à la distance moyenne de cet astre à la Terre. Abstraction faite de l'absorption par l'atmosphère terrestre, cette grandeur se déduit d'observations faites au moyen de calorimètres très sensibles (1). La correction de l'absorption atmosphérique est délicate et dépend de données dont on n'est pas encore tout à fait sûr aujourd'hui.

Depuis 1902, l'Observatoire astrophysique de la *Smithsonian Institution* (Washington) étudie principalement la constante solaire (2). Ces recherches ont confirmé que le nombre de Pouillet n'est pas invariable ; sa définition appliquée d'une manière aussi continue que possible conduit à des valeurs voisines de 2 calories, mais affectées de variations systématiques : pour la période 1902-1912, sa valeur moyenne a été évaluée à 1,933 cal. ; elle l'a été à 1,946 cal. pour la période 1912-1920.

Les variations de la soi-disant constante solaire ne sont pas dues à des circonstances locales, car elles se retrouvent en concordance dans des stations très éloignées les unes des autres, comme Mount-Wilson, Bassour (Algérie), Calama (Chili) ; elles se retrouvent aussi dans les variations d'éclat

(1) Un appareil nouveau a été présenté en 1922 par É. Pettit et S. B. Nicholson (Mount-Wilson) : *The Application of Vacuum-Thermocouples to Problems in Astrophysics*, APH. J., t. 56 (1922, 2), p. 295.

(2) ANNALS OF THE ASTROPHYSICAL OBSERVATORY OT THE SMITHSONIAN INSTITUTION, Washington, vol. I (1900), II (1908), III (1913), IV (1922), le premier publié par S. P. Langley, les trois autres par C. G. Abbot, successivement directeurs de l'Observatoire. Le vol. I rapporte les recherches faites sur la partie infra-rouge du spectre solaire. Les trois derniers volumes sont presque exclusivement consacrés à la détermination de la constante solaire. Le tome II renferme la description et la discussion des instruments employés, le spectrobolomètre et le pyrhéliomètre, et relate leurs premières applications. La relation de ces applications est poursuivie dans les volumes suivants, et le dernier s'ouvre par la description d'instruments nouveaux, le bolomètre à vide et le pyranomètre. Dans chacun de ces volumes, un chapitre particulièrement intéressant est celui où l'on s'occupe de l'intensité de la radiation aux différents points du disque solaire.

des planètes, études qui, récemment, ont porté particulièrement sur Saturne.

Ces variations peuvent se représenter par la superposition de nombreuses oscillations : les unes sont à courte période, comme 25 et 28 jours, mais une variation principale semble liée à la période d'activité solaire qui est celle du nombre des taches à la surface du Soleil, période d'environ onze années dont on connaît depuis longtemps la corrélation avec le magnétisme terrestre (1). Les résultats récents ont confirmé et précisé cette conclusion : en première approximation la constante solaire est maximum aux époques où le Soleil présente un nombre maximum de taches, et inversement. En 1920, A. Angström (Stockholm) a cherché une relation numérique entre la constante solaire et la moyenne annuelle du nombre des taches (2). Dans ce premier travail il a admis que le nombre de taches est une fonction parabolique de la constante solaire, de sorte que, à un terme invariable près (la constante solaire pour zéro tache), celle-ci est proportionnelle à la racine carrée du nombre de taches. Aujourd'hui le même auteur rend sa formule plus exacte en la complétant par un terme proportionnel au nombre même des taches (3). Ainsi, en seconde approximation, la con-

(1) Les variations du champ magnétique terrestre sont liées à celles du champ magnétique solaire. Le dédoublement des raies spectrales (effet Zeeman) démontre l'existence d'un champ magnétique intense régnant dans les couches inférieures de l'atmosphère solaire. — Dans le BULLETIN DE LA CLASSE DES SCIENCES DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE, Annexe, Commun. de 1915 (1919), p. 7, *Relation entre la radiation solaire et le magnétisme terrestre*, P. Stroobant (Uccle) a montré qu'une diminution de 0,001 cal. dans la valeur de la constante solaire correspond à un affaiblissement de 4″,5 dans la variation diurne de la déclinaison magnétique.— D'après C. Störmer (Christiania), il existe un champ magnétique beaucoup plus faible régnant dans la couronne : les corpuscules qui causent les aurores boréales sur la Terre seraient les mêmes que ceux auxquels sont dus les rayons de la couronne: *Détermination du champ magnétique extérieur du Soleil par la structure de la couronne et les constantes des aurores boréales*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1447.

(2) Références indiquées dans l'article signalé à la note suivante.

(3) A. Angström, *Solar Constant, Sun-spots and Solar Activity*, APH. J., t. 55 (1922, 1), p. 11. La nouvelle loi est encore parabolique,

stante solaire se montrerait maximum pour une moyenne annuelle du nombre de taches voisine de 85 et à laquelle correspondrait un peu plus de 1,95 calorie. — On se représente qu'il y aurait un intérêt nouveau, si pas plus grand, à exprimer plutôt la constante solaire en fonction de la moyenne annuelle de la surface totale des taches.

De 1912 à 1919, la constante solaire a été mesurée 325 fois à l'observatoire de Pawlowsk (Russie) ; les résultats témoignent de variations qui semblent liées à celles de l'angle de pente de la direction Soleil-Terre par rapport à des axes héliocentriques dont l'axe des z est l'axe de rotation du Soleil, c'est-à-dire de la latitude héliographique : la constante solaire est minimum lorsque la Terre se trouve dans le voisinage de l'équateur solaire (1). Ceci indiquerait une température solaire moins élevée à l'équateur qu'aux pôles, et W. Anderson (Dorpat) y voit une confirmation de la théorie de R. Emden dans laquelle le Soleil est étudié comme une masse fluide en équilibre dynamique et thermique, en rotation par rapport aux axes des principes de la Mécanique (2).

Courants solaires. — C. G. Abbot et d'autres ont fait l'hypothèse que l'accroissement du nombre de Pouillet avec le nombre des taches provient d'un renforcement, au bord des taches, du courant de convection amenant de la profondeur de l'astre à sa surface de la matière à plus haute température. A. Angström montre que cette hypothèse est conforme à sa loi de deuxième approximation ; mais ces courants de convection, essentiels dans tant de théories solaires, sont-ils une réalité ? — Ces courants doivent se manifester

mais la parabole qui la représente sur un diagramme a sa direction asymptotique inclinée sur l'axe des nombres de taches.

(1) N. Kalitin, *Ueber die Möglichkeit einer Veränderung der Sonnenkonstante in Abhängigkeit von der Veränderung der heliographischen Breite der Erde*, A. N., t. 215 (1921-1922), n° 5138. — Voir É. Merlin, *Sur le calcul des coordonnées héliographiques*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1536.

(2) W. Anderson, *Wichtige Konsequenzen aus Kalitins Beobachtungen der Solarkonstante*, A. N., t. 216 (1922), n° 5176. — Sur la théorie d'Emden (1002), J. Bosler, *Les théories modernes du Soleil*, Paris, 1900.

par un déplacement des raies du spectre vers l'extrémité violette de celui-ci pour des rayons lumineux provenant seulement du centre du disque solaire ; et, à moins que ces courants ne soient d'une extraordinaire invariabilité, les déplacements des raies seront un peu variables avec le temps.

Jewell fut le premier, en 1896, à s'occuper de cette question (1), mais les quantités cherchées étaient de l'ordre de grandeur des erreurs inhérentes aux procédés de son époque. J. Evershed la reprit récemment et crut découvrir la preuve spectroscopique des courants normaux à la surface du Soleil (2). Au contraire, les recherches effectuées à Mount-Wilson par C. E. St John et H. D. Babcock viennent d'établir la constance des longueurs d'onde des raies solaires (3) ; pour sauver l'hypothèse des courants de convection, il faudrait supposer une exacte compensation continue due à des courants analogues dans l'atmosphère terrestre, et cette hypothèse n'est pas admissible. Il semble donc falloir admettre que les courants solaires centripètes dans le Soleil s'incurvent dans le voisinage de la surface pour devenir à peu près parallèles à celle-ci dans la couche où se fait l'absorption des radiations disparues du spectre solaire.

Le Soleil étoile variable. — Maintenant que le nombre de Pouillet n'est plus la constante que pensait son inventeur, le Soleil doit être considéré comme une étoile variable. La variabilité de certaines étoiles peut s'expliquer par le passage périodique d'un compagnon obscur gravitant autour de la composante lumineuse dans un plan qui passe suffisamment près du système solaire. Il ne s'agit pas de cette hypothèse, pour notre Soleil ; elle n'est pas admissible non plus pour les Céphéides, car pour ces dernières (dont la mieux connue est δ Céphée) la couleur change avec l'éclat, et c'est bien là l'indice d'un phénomène dont l'étoile elle-même est pério-

(1) L. E. Jewell, *The Coincidence of Solar and Metallic Lines, a Study of the Appearance of Lines in the Spectra of the Electric Arc and the Sun*, Aph. J., t. 3 (1896, 1), p. 89.

(2) Références indiquées dans l'article signalé à la note suivante.

(3) C. E. St John et H. D. Babcock, *An Investigation of the Constancy in Wave-Length of the Atmosphere and Solar Lines*, Aph. J., t. 55 (1922, 1), p. 36.

diquement le théâtre (1). C'est ainsi que notre Soleil est, pour É. Belot, une Céphéide à laquelle est applicable aussi l'hypothèse d'une variation d'éclat due à une pulsation mécanique à la surface de l'étoile (2) : l'astre posséderait un noyau moyennement sphérique, et sa pulsation renflerait alternativement l'équateur et les pôles.

Taches invisibles. — Lorsque la source lumineuse est placée dans un champ magnétique suffisamment intense, les raies du spectre, observées parallèlement au champ, sont dédoublées, et, pour une même longueur d'onde, la distance entre les composantes de la raie est proportionnelle à l'intensité du champ ; les lumières des deux composantes sont polarisées circulairement dans des sens inverses, et le sens de la polarisation de la composante située, par exemple, vers l'extrémité rouge du spectre, permet de dire quelle est l'orientation du champ. C'est le phénomène de Zeeman. Ce phénomène a été reconnu par G. Hale en 1908 dans le spectre dû aux taches du Soleil (3).

Les taches sont généralement associées deux à deux, avec

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 1), p. 266 (p. 22 du tiré-à-part). — De plus, le diagramme de l'intensité lumineuse d'une pareille étoile présente une dissymétrie que n'explique pas l'éclipse annulaire par un compagnon obscur. Des tentatives ont cependant été faites pour écarter cette difficulté et soutenir l'hypothèse de l'étoile double ; bibliographie et réfutation dans : A. Pannekoek (Amsterdam), *Zur Doppelstern-Theorie der δ Cephei-Veränderlichen*, A. N., t. 215 (1921-1922), n° 5145. Voir aussi J. Stein (Amsterdam), même titre, A. N., t. 217 (1922-1923), n° 5188. Pour une étude d'ensemble et essai de justification de l'hypothèse de l'étoile double moyennant une dissymétrie due à la production de marées, voir F. Nölcke, *Zum δ Cephei-Problem*, A. N., t. 217 (1922-1923), n° 5189.

(2) É. Belot, *La périodicité et le mouvement des taches du Soleil en latitude expliqués par la pulsation de son noyau*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 283. — T. J. See a publié un mémoire très étendu sur la même question : *Discovery of the Cause of the Sunspots, and of their 11 Year Periodicity, and of the Cause of the Cepheid, Geminid, and Cluster variable Stars*, A. N., t. 216 (1922), n° spécial, col. 193.

(3) G. Hale. *On the probable Existence of Magnetic Fields in Sun-Spots*, Aph. J., t. 28 (1908, 2), p. 315.

des champs magnétiques dont les pôles sont opposés (1) : sur 970 taches examinées de 1915 à 1917, 61 % ont présenté cette particularité. On en est ainsi venu à l'idée que cette association serait un caractère général, et qu'à chaque tache solaire en correspondrait une autre, généralement visible, mais parfois aussi ne présentant qu'un abaissement de température insuffisant à sa visibilité (2) : ces taches invisibles seront décelées par le dédoublement (ou l'élargissement) des raies spectrales avec des polarisations inverses dans les deux composantes (ou sur les deux bords). Ces recherches ont été entreprises à Mount-Wilson en novembre 1921 et ont déjà fait découvrir plusieurs taches invisibles dont l'intensité magnétique est de 300 à 500 gauss, tandis que l'intensité des taches visibles est de l'ordre de grandeur de 3000 gauss. Il y a là quelque chose d'analogue à la découverte de la composante obscure d'une étoile double par l'observation des mouvements de la composante lumineuse.

L'ionisation de l'atmosphère solaire. — En 1920 et 1921, M. N. Saha (Calcutta) a publié une série d'articles sur l'application de la thermodynamique à l'ionisation de l'atmosphère solaire et des atmosphères stellaires (3). — Un gaz est ionisé lorsqu'un certain nombre de ses atomes sont décomposés en un ou plusieurs électrons et un résidu chargé d'électricité positive. Son degré d'ionisation est le rapport du nombre d'atomes ionisés au nombre total des atomes. Bien que les astrophysiciens se soient occupés aussi de l'arrachement de deux électrons, on ne parlera ci-dessous que de l'ionisation simple dans laquelle l'atome ne perd qu'un électron. Dans cet arrachement l'électron est soustrait à l'attraction

(1) Ph. Fox et G. Abetti, *Interaction of Sun-Spots*, APH. J., t. 29 (1909, 2), p. 38. — G. Hale, Ellerman, S. B. Nicholson et H. Joy, *The Magnetic Polarity of Sun-Spots*, APH. J., t. 49 (1919, 1), p. 153.

(2) G. Hale, *Invisible Sun-spots*, A. S. W., t. 8 (1922), p. 168.

(3) M. N. Saha, *Ionization in the Solar Atmosphere*, P.M., t. 40 (1920), p. 472 ; *Elements in the Sun*, P. M., t. 40 (1920), p. 809 ; *On the Temperature Radiation of Gases*, P. M., t. 41 (1921), p. 267 ; *On a physical Theory of Stellar Spectra*, PR. R. S., t. 99 (1921), p. 135. — E. A. Milne, *Ionization in Stellar Atmospheres*, OBS., t. 44 (1921), p. 261.

du reste de l'atome, et ceci demande une dépense d'énergie qui vienne de l'intérieur de l'édifice atomique. Le travail minimum nécessaire à cet effet est le travail d'ionisation : il dépend de l'atome considéré ; exprimé en calories, c'est la chaleur d'ionisation. Un électron libre peut être animé d'une vitesse suffisante pour que dans son choc avec un atome il provoque l'ionisation de celui-ci. A chaque espèce d'atome correspond une valeur minimum de cette vitesse, et par conséquent de l'intensité du champ électrique dans lequel l'électron prend cette vitesse : le potentiel d'ionisation est la chute du potentiel par centimètre correspondant à cette intensité ; il est proportionnel au travail d'ionisation par molécule-gramme à raison d'un volt par 23020 calories.

La partie théorique des travaux de Saha conduit à une relation, valable pour tous les gaz entre le degré, d'ionisation du gaz considéré, le potentiel d'ionisation propre à celui-ci, la pression et la température. — Or, dans le spectre solaire (et dans les spectres stellaires), les raies caractéristiques de chacun des gaz de l'atmosphère de l'astre sont généralement de deux espèces : les unes sont normales et les autres renforcées, intensifiées comme celles qui se présentent dans un spectre d'étincelle, et on sait que les raies renforcées sont dues aux atomes ionisés. L'étude du spectre et la computation, pour chaque gaz ou vapeur métallique, des raies normales et des raies renforcées permettent le calcul du degré d'ionisation de ce gaz ou de cette vapeur. De plus, le potentiel d'ionisation de chaque gaz ou vapeur est connu par les recherches de laboratoire (1). L'observation du spectre solaire ou de telle couche de son atmosphère met donc l'astrophysicien à même d'écrire une relation entre la température et la

(1) En ordre croissant, les potentiels de première ionisation sont, en volts, les suivants pour l'hydrogène, l'hélium, les métaux alcalins et alcalino-terreux :

Caesium	3.81	Baryum	5.12	Magnésium	7.65
Rubidium	4.16	Lithium	5.37	Zinc	9.40
Potassium	4.32	Strontium	5.67	Hydrogène	13.54
Sodium	5.11	Calcium	6.08	Hélium	25.20

H. D. Smyth, *A new Method for Studying Ionising Potentials*, Pr. R. S., t. 102 (1922), p. 283.

pression qui règnent en cette région ou dans cette couche. Une détermination indépendante de l'une de ces deux grandeurs, température et pression, implique donc, par le calcul, la détermination de l'autre, pression ou température, respectivement.

Telle est la théorie. — Avant de l'appliquer à des recherches nouvelles, il faut, pour s'assurer de sa valeur, la rapprocher des connaissances déjà acquises. Le potentiel d'ionisation du calcium est 6,08 volts. Il en résulte, par la formule de Saha, que des atomes de calcium, à telle température et à telle pression, présentent tel degré d'ionisation (1). Pour une température de 6000 à 7000° qui est celle de la surface du Soleil (2), et pour une pression allant de quelques dixièmes d'atmosphère à une atmosphère attribuée à ce niveau, le degré d'ionisation va de 10 à 50 %, chiffres arrondis ; et, en effet, le spectre de la couche renversante présente les raies du calcium, les unes normales, les autres renforcées, dans un rapport correspondant à pareil pourcentage.

(1) Par exemple, et en vue du texte qui va suivre, sous une pression de P atmosphères et pour une température absolue de T degrés cent., le degré (en %) d'ionisation du calcium est donné par le tableau suivant :

	P = 10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
T = 4000°	0	0	0	3	9	26
5000	0	2	6	20	55	90
6000	2	8	26	64	93	99
7000	7	23	68	91	99	100
8000	16	46	84	99	100	100
10000	46	87	99	100	100	100
12000	67	97	100	100	100	100

(2) Cette température attribuée au Soleil est sa température efficace, température que devrait avoir, pour rayonner de la même manière que le Soleil, une source d'énergie qui répondrait à la définition du corps noir des physiciens. Des recherches récentes ont été faites dans le but de passer de la température efficace à la température vraie de la surface. Il y a lieu de tenir compte, entre autres, de l'absorption par l'atmosphère solaire. Bibliographie dans W. Anderson, *Zur Bestimmung der wirklichen Photosphärentemperatur*, A. N., t. 215 (1921-1922), n° 5148. L'astronome de Dorpat signale en particulier une évaluation de S. Hiramaya (Tokyo) d'après laquelle à une température efficace de 6000° correspondrait une température vraie de 7040°.

Ceci est encore assez grossier ; mais considérons des couches chromosphériques de plus en plus élevées ; la pression devient rapidement très petite tandis que l'équilibre de radiation maintient une haute température comme 5000 ou 6000° ; le degré d'ionisation du calcium, pour de pareilles températures, passe de 2 à 99 %, lorsque la pression décroît d'une atmosphère à un dix-millième d'atmosphère.

Les raies renforcées doivent donc l'emporter de plus en plus sur les raies normales au fur et à mesure que la couche explorée est plus éloignée de la surface du Soleil. Il en est bien ainsi : à une distance de 500 km. de cette surface, les raies normales disparaissent tandis que les raies renforcées subsistent jusque dans les couches de 14000 km. d'altitude, le calcium étant entièrement ou presque entièrement ionisé dans la partie de la chromosphère comprise entre ces deux niveaux.

L'application de la théorie de Saha à des recherches nouvelles, en ce qui concerne le Soleil, a été faite en 1922 par H.N. Russell à l'observatoire de Mount-Wilson (1). Il y a comparé les raies normales et renforcées des métaux alcalins et alcalino-terreux dans le spectre de la couche renversante et dans le spectre des taches. Attribuant à la couche renversante une température de 6000° et aux taches une température de 4000°, il en a déduit le degré d'ionisation de chacune de ces vapeurs métalliques dans la couche et dans les taches, et s'est mis à même, par conséquent, d'aborder l'étude de la pression qui règne en ces diverses régions de la surface solaire. La manière schématique dont cette question vient d'être exposée ne doit pas faire illusion sur les difficultés de son application. C'est au cours de ces recherches de Russell que le rubidium a été, pour la première fois, décelé dans le Soleil : les raies de ce métal apparaissent exclusivement dans le spectre des taches (2).

(1) H. N. Russell, *The Theory of Ionization and the Sunspot Spectrum*, APH. J., t. 55 (1922, 1), p. 119 ; *Notes on Ionization in the Solar Atmosphere*, même vol., p. 354.

(2) H. N. Russell, *Rubidium in the Sun*, A. S. PAC., t. 33 (1921), p. 202.

Physique stellaire

Étoiles à raies chromosphériques. — Le Soleil appartient à la classe des étoiles jaunes. Ces étoiles sont caractérisées par un spectre dans lequel les raies métalliques sont très nombreuses. Dans l'ordre des températures décroissantes, la classe des étoiles jaunes est située après la classe des étoiles bleues et avant celle des étoiles rouges. Dans le spectre des étoiles bleues, les raies de l'hélium et de l'hydrogène sont prépondérantes ; de larges bandes assombrissent celui des étoiles rouges. D'après la classification d'Harvard, les étoiles bleues sont des types O, B, A ; les étoiles jaunes sont des types F, G, K ; les étoiles rouges des types M, R, N : chacun de ces types est caractérisé par son spectre (1).

L'étude spectroscopique du Soleil a permis à H. Deslandres (Meudon) de distinguer dans la chromosphère, au-dessus de la surface extrêmement brillante, trois couches dont chacune est définie par la nature des raies correspondantes du calcium : la couche inférieure à larges raies noires, la couche moyenne à raies brillantes, la couche supérieure à fines raies noires apparaissant au milieu des raies brillantes de la couche moyenne. Il est intéressant de chercher si l'atmosphère des autres étoiles jaunes présente la même disposition. Cette étude a été amorcée par Schwarzschild et Eberhard qui, en 1913, découvrirent les raies brillantes de la couche moyenne dans les spectres d'Arcturus (α Bouvier), Aldébaran (α Taureau) et Castor (α Gémeaux).

Les recherches de H. Deslandres et V. Burson commencées en 1920 et signalées l'an dernier dans cette chronique ont été poursuivies (2). Les étoiles connues à raies brillantes chromosphériques sont actuellement au nombre de douze, dont onze étoiles jaunes et une étoile rouge (Bételgeuse ou

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 1), p. 260 (p. 14 du tiré-à-part); pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2 (1922, 1), p. 175 (p. 7 du tiré-à-part). Voir aussi ROME, p. 95.

(2) H. Deslandres et V. Burson, *Recherches sur l'atmosphère des étoiles, propriétés des étoiles qui ont la même radiation et les mêmes couches de la chromosphère que le Soleil*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 121.

α Orion). De ces étoiles quatre font apparaître, au milieu des raies brillantes, les raies noires caractéristiques de la couche supérieure de la chromosphère ; outre l'étoile rouge Bételgeuse, ce sont les étoiles jaunes Arcturus, ε Gémeaux et β Dragon. Ces trois dernières étoiles, de la même classe spectrale que le Soleil, sont donc les astres connus qui présentent le mieux les caractères spectroscopiques de celui-ci ; mais les couches chromosphériques moyenne et supérieure s'y montrent plus importantes.

Le petit nombre d'étoiles jaunes à raies brillantes actuellement connues pourrait les faire considérer comme des astres dont l'étude est sans importance. Il ne faut pas perdre de vue que vingt-quatre étoiles jaunes seulement se trouvent dans les conditions d'observation exigées par le peu de puissance des moyens dont disposent les astronomes de Meudon, et ceux-ci, après discussion, concluent que le nombre des étoiles jaunes à fortes raies brillantes s'annonce comme élevé.

Températures stellaires. — En 1914, W. W. Coblentz a publié les résultats de ses mesures radiométriques d'étoiles effectuées à Mount-Hamilton (Californie) à une altitude de 4000 pieds (1) ; on y voit que les étoiles rouges émettent une radiation *totale* de 2,5 à 3 fois aussi forte que celle des étoiles bleues de la même grandeur. La contre-épreuve se faisait par le passage de la radiation stellaire à travers une couche d'un cm. d'eau limitée par des lames de quartz : la fraction visible de la radiation totale s'est montrée dans les étoiles bleues deux fois plus grande que dans les étoiles jaunes et trois fois plus grande que dans les étoiles rouges.

Le même auteur a repris récemment ses recherches à une altitude de 7300 pieds à Flagstaff, dans l'Arizona (2). Pour les étoiles bleues, le maximum d'énergie rayonnante s'est trouvé dans l'ultra-violet, tandis que ce maximum s'est trouvé dans l'infra-rouge pour les étoiles rouges. Or on sait par la loi de Wien que la température absolue efficace de la

(1) Bulletin of the Bureau of Standards (Wash.), t. 11 (1914), p. 613.

(2) W. W. Coblentz, *New Measurements of Stellar Radiation*, Aph. J., t. 55 (1922, 1), p. 20.

source rayonnante est en raison inverse de la longueur d'onde correspondant à l'énergie maximum, et les physiciens ont déterminé le coefficient de proportionnalité. C'est ainsi que, la radiation la plus intense se rencontrant en tel point de la région vert-bleu du spectre, la température du Soleil est placée (par cette méthode) vers 6500°. C'est ainsi aussi que, d'après Coblentz, les températures stellaires absolues vont de 3000° pour les étoiles rouges à 10 000° pour les étoiles bleues.

La détermination des températures stellaires par l'examen des spectres est l'un des plus beaux problèmes de l'Astronomie physique. Mais l'application de la loi de Wien rappelée ci-dessus n'est pas toujours aussi facile que pourrait le laisser croire la simplicité de son énoncé. D'autres critères ont été proposés. Par exemple, de deux raies indigo dues au magnésium, et dont les longueurs d'onde sont respectivement 0,4481 et 0,4352 μ, la première, qui est une raie d'étincelle, est considérée depuis Scheiner et Lockyer comme révélatrice des plus hautes températures stellaires, tandis que la deuxième, qui est une raie d'arc, est considérée comme témoignant de températures relativement basses. Or A. de Gramont (Paris) et G. A. Hemsalech (Oxford) viennent de montrer que le renforcement du champ électrique agit de la même manière que l'accroissement de la température sur la constitution du spectre de magnésium, pour faire disparaître la raie d'arc et faire apparaître la raie d'étincelle (1). « Il serait dangereux de conclure qu'une étoile possède une haute température parce que des raies d'étincelle prédominent dans son spectre », et il serait aussi légitime de l'appeler étoile à puissantes décharges électriques ou étoiles à haute tension.

C'est sur la loi de Wien qu'est basé le photomètre hétérochrome de Ch. Nordmann (Paris) pour le calcul des températures stellaires. Quelques-unes de ses applications se sont montrées particulièrement intéressantes au cours de 1922, d'après les publications de Ch. Nordmann et Le Morvan (2).

(1) A. de Gramont et G. A. Hemsalech, *Sur l'évolution du spectre du magnésium sous l'influence d'actions électriques croissantes, application à l'Astrophysique*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 356.

(2) Ch. Nordmann et Le Morvan, *Observation d'une étoile anor-*

Une étoile bleue, dite 13 Céphée, est nettement moins chaude que les étoiles jaunes du type auquel appartient le Soleil et des types voisins : cette anomalie est sans précédent et équivaut à ce que la radiation la plus intense est, dans l'étoile étudiée, toute bleue qu'elle soit, plus voisine de l'extrémité rouge du spectre que dans la plupart des étoiles jaunes. D'après les auteurs, il est extrêmement probable que la raison de cette anomalie doit être cherchée dans l'existence d'une atmosphère exceptionnellement dense autour de l'étoile considérée. — L'étude comparative de deux étoiles de la Grande Ourse, les étoiles θ et ι, a fait apercevoir une autre singularité : la première est une étoile jaune, la deuxième une étoile bleue ; cependant leurs températures sont sensiblement égales. Ceci pourrait être dû à ce que l'étoile bleue ait une température anormalement basse, comme c'est le cas pour 13 Céphée ; mais c'est le contraire qui est vrai : l'étoile jaune, θ Grande Ourse, a une température aussi élevée que les étoiles à hydrogène ; ce qui équivaut à dire que la radiation la plus intense est, dans l'étoile étudiée, toute jaune qu'elle soit, plus voisine de l'extrémité violette du spectre que dans bien des étoiles bleues.

Ces découvertes méritent l'attention : elles démontrent que la correspondance entre les caractères spectraux des étoiles et leurs températures efficaces ne peut avoir « qu'une signification moyenne comportant de nombreuses exceptions » (1).

male au photomètre hétérochrome de l'Observatoire de Paris, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 101 ; *Observation d'un phénomène singulier que présente l'étoile θ de la Grande Ourse*, même vol., p. 669 ; *Observation d'étoiles du type N et notamment d'une étoile à température effective extrêmement basse, au moyen du photomètre hétérochrome de l'Observatoire*, même vol., p. 1690 ; *Sur les températures effectives des étoiles θ et ι de la Grande Ourse*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 573.

(1) Un nouvel argument en faveur de cette opinion se trouve dans le troisième des articles signalés ci-dessus : on y voit que la température efficace des étoiles du type N n'est pas toujours inférieure à celle des étoiles du type M. C'est au cours de cette même étude qu'a été découverte une étoile à température extrêmement basse : c'est une étoile de sixième grandeur de la constellation du Dragon dont la température est 2160° absolus ou 1887°C. — A propos de ces anomalies et de l'influence de l'absorption par les

Pression dans les atmosphères stellaires. — La température de la source se manifeste encore dans le spectre d'une autre manière : elle modifie la largeur des raies (1). Mais la mesure de cette largeur ne peut pas, seule, conduire à la détermination de la température, car elle est soumise à d'autres influences : la pression qui règne dans la source, et son champ électrique.

L'influence de la pression sur la largeur des raies fut signalée pour la première fois par A. J. Angström en 1855 (2). Elle fut l'objet, en 1873, 1892, 1895 et 1915, d'études de Rayleigh et de Michelson basées sur la théorie cinétique des gaz (3). Michelson compléta ses travaux théoriques par des recherches expérimentales : la largeur des raies augmente avec la pression d'une manière à peu près linéaire ; en d'autres termes, les accroissements de la largeur sont proportionnels

atmosphères stellaires, voir encore S. B. Nicholson et E. Pettit, *The Total Radiation of* o *Ceti*, A. S. PAC., t. 34 (1922), p. 132 ; et E. A. Milne, *The Temperature of* o *Ceti*, OBS., t. 45 (1922), p. 223. Il s'agit des fluctuations du rapport du rayonnement visible au rayonnement total de la variable Mira Ceti. — B. Harkanyi (Budapest) a fait remarquer que, dans chaque type spectral, la température est à peu près une fonction linéaire de la grandeur absolue, moyennant un coefficient de proportionnalité qui croît des étoiles bleues aux étoiles rouges : *Ueber den Einfluss der absoluten Grösse auf die effektiven Temperatur der Sterne*, A. N., t. 217 (1922-1923), n° 5202.

(1) En particulier Ch. Buisson et H. Fabry, *Sur la température des sources de lumière*, C. R., t. 154 (1912, 1), p. 1349 ; *La largeur des raies spectrales et la théorie cinétique des gaz*, JOURNAL DE PHYSIQUE, 5me série, t. 2 (1912), p. 442.

(2) A. J. Angström, *Optische Untersuchungen*, ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE, t. 94 (1855), p. 141.

(3) A. A. Michelson, *On the Application of Interference Methods to Spectroscopic Measurements*, P. M., 5me série, t. 34 (1892), p. 280 ; *On the Broadening of Spectral Lines*, APH. J., t. 2 (1895, 2), p. 251. — Sur l'ensemble de la question, voir Stark, JAHRBUCH DER RADIOACTIVITAET, t. 12 (1915), p. 349. — Dans son étude de 1915, Rayleigh, appliquant la théorie cinétique des gaz, considérait la température et la pression de la source comme affectant la largeur des raies par l'intermédiaire des cinq modifications suivantes que subissent les particules rayonnantes : 1) mouvements de va-et-vient des particules par rapport à l'observateur ; 2) leur rotation ; 3) leurs chocs mutuels ; 4) leur extinction graduelle par perte d'énergie ; 5) la multiplicité des sources de lumière le long d'un même rayon.

aux accroissements de la pression. Tous les expérimentateurs, sauf un seul, ont confirmé cette conclusion.

L. W. Taylor (Chicago) vient de reprendre cette étude pour trois raies de l'hélium sous des pressions de la source croissant (lorsque la visibilité le permettait) jusque 35 cm. de mercure (1). D'après les idées reçues, les diagrammes des largeurs en fonction des pressions auraient dû être rectilignes. Il n'en a pas été ainsi, et la loi cherchée n'est pas linéaire. L'auteur admet provisoirement une loi parabolique, en ajoutant à la formule linéaire un terme du second degré de la pression, et détermine, pour chacune des trois raies les valeurs des coefficients. L'application de la Théorie des erreurs aux résultats expérimentaux semble devoir être reprise, car les diagrammes présentent des points d'inflexion que la loi parabolique n'est pas capable de reproduire.

T. R. Merton (Londres) est probablement le premier à avoir signalé l'influence de l'état électrique de la source sur la largeur des raies (2). Il reste à étudier la part due à cette influence et celle qui revient à la pression. Un accroissement de pression diminue le libre parcours des particules rayonnantes, augmente le nombre de chocs, et la théorie cinétique des gaz permet le calcul de l'élargissement de la raie dû à la pression seule. E. O. Hulbert (Iowa) vient de faire ce calcul pour certaines raies de l'hydrogène à une température de 600° et sous une pression de 100 mm., et de confronter avec l'observation le résultat de ce calcul (3). Le calcul annonçait, pour telle de ces raies, une largeur de 0,000 004 μ tandis que la photographie a fait voir une largeur de 0,008 μ. Cette énorme différence décèle une autre influence, et celle-ci, après discussion, ne peut guère être que celle qu'indiquait Merton, l'état électrique des particules rayonnantes.

La pression dans la source lumineuse élargit les raies

(1) L. W. Taylor, *The Width of certain Lines of the Spectrum of Helium as a Function of Pressure in the Source*, APH. J., t. 56 (1922, 2), p. 16.

(2) T. R. Merton, *On the Structure of Broadened Spectral Lines*, PR. R. S., t. 92 (1916), p. 322 ; *On the Electrical Resolution and Broadening of Helium Lines*, PR. R. S., t. 95 (1918), p. 30.

(3) E. O. Hulbert, *The Broadening of the Balmer Lines of Hydrogen with Pressure*, APH. J., t. 55 (1922, 1), p. 399.

spectrales, mais aussi elle les déplace, du moins certaines d'entre elles ; en particulier certaines raies du fer sont déplacées inégalement, et on connaît la relation qui existe entre la pression et le déplacement de chacune d'elles. Mais les raies sont déplacées aussi lorsque la source se rapproche ou s'éloigne, et, pour une même vitesse de celle-ci ce déplacement est proportionnel à la longueur d'onde de la raie pour la source au repos. La vitesse de la source étant inconnue, les mesures des déplacements de deux raies sont nécessaires et suffisantes à l'élimination de cette vitesse inconnue et au calcul de la pression. C'est ce que vient de faire P. Salet (Paris) en comparant les spectres de Procyon et d'Arcturus au spectre solaire, puis le spectre solaire à celui de l'arc à la pression atmosphérique (1). Les pressions stellaires cherchées ne sont supérieures que d'une ou deux atmosphères à celle de la couche renversante du Soleil et la pression de celle-ci est seulement de quelques dixièmes d'atmosphère.

L'ionisation dans les atmosphères stellaires. — On a vu ci-dessus que la théorie récente de M. N. Saha établit une relation

(1) P. Salet, *Sur la pression de l'atmosphère des étoiles et du Soleil*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 151. L'auteur a mesuré seulement la différence des déplacements des raies. Dans le calcul suivant la différence ne suffit pas. Le déplacement total est la somme des déplacement dus à la pression p et à la vitesse de la source dont k sera une fonction ; pour les radiations λ_1 et λ_2

$$\delta\lambda_1 = f_1(p, \lambda_1) + k\lambda_1, \qquad \delta\lambda_2 = f_2(p, \lambda_2) + k\lambda_2,$$

d'où, par élimination de k,

$$\frac{\delta\lambda_1 - f_1(p, \lambda_1)}{\delta\lambda_2 - f_2(p, \lambda_2)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2},$$

équation en p. En même temps on pourra calculer k et par conséquent la vitesse de la source.

Réserves faites pour l'influence du champ de gravitation conformément à la physique relativiste, la variation de la distance de la source et la pression ne sont pas les seules causes connues d'un déplacement des raies. Voir M. Maggini : *Sur le rôle que la dispersion anomale peut jouer dans les spectres des étoiles*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 746 ; et *La dispersion anomale dans les spectres stellaires*, même vol., p. 1393.

entre le degré d'ionisation d'un gaz, le potentiel d'ionisation propre à celui-ci, la température et la pression. La même théorie a permis à son auteur de dresser une échelle des températures stellaires en concordance avec l'échelle des types spectraux successifs (1). On a étudié le spectre d'une étoile de chacun de ces types spectraux dans l'ordre attribué aux températures croissantes, et on a recherché les raies renforcées de l'hélium. Dans les spectres des premiers types spectraux, ceux des étoiles rouges, puis des étoiles jaunes, ces lignes ne se sont pas trouvées. Le premier type spectral montrant pareilles lignes est le type A, celui des étoiles les moins chaudes parmi les bleues. Les étoiles de type A sont donc celles dans l'atmosphère desquelles la température et la pression satisfont à la relation de Saha lorsque, dans celle-ci, on remplace le potentiel d'ionisation par celui de l'hélium et le degré d'ionisation par la moindre valeur pour laquelle on estime possible l'observation des raies renforcées. Pour en déduire la température, il reste à faire une hypothèse vraisemblable sur la pression : Saha l'estime de l'ordre d'une atmosphère à un dixième d'atmosphère, et en déduit une température de 12000° pour les étoiles de ce type spectral. On voit tout ce qu'il reste à faire dans cette voie, et combien, en particulier, il importe de s'assurer des meilleures valeurs possible pour les pressions. Mais l'évaluation des pressions est particulièrement délicate, et il y a peut-être lieu de poser la question suivante : n'est-il pas mieux indiqué d'adopter une échelle des températures obtenues par une autre méthode, et d'utiliser la formule de Saha au calcul d'une échelle des pressions dans les différents types spectraux ? — Quoi qu'il en soit, voici un résumé de l'échelle des températures dressée par Saha :

Étoiles bleues : O, 23 000° ; B, 18000° à 14000° ; A, 12000°.
Étoiles jaunes : F, 9000° ; G, 7000° ; ....
Étoiles rouges : M, 5000° à 4000°.

(1) Références de l'article ci-dessus sur l'ionisation de l'atmosphère solaire (Physique solaire) ; de plus A. Pannekoek, *Ionization in Stellar Atmospheres*, BULL. OF THE ASTRONOMICAL INSTITUTES OF THE NETHERLANDS, n° 19 (1922).

Étoiles naines et étoiles géantes. — Considérons deux étoiles rouges, toutes deux du type M, l'une Antarès (α Scorpion) de première grandeur, l'autre une étoile très faible qui porte le nº 34 dans le catalogue de Groombridge (1) : l'éclat de la première vaut 60000 fois celui de la deuxième. Ce sont des étoiles doubles ; le mouvement de leurs composantes permet le calcul de leurs masses : la masse d'Antarès ne vaut que 100 fois la masse de 34 Groombridge. Du même type spectral, elles ont à peu près la même température ; il faut en conclure que le volume d'Antarès est assez grand vis-à-vis de celui de l'autre étoile pour que l'éclat des deux astres soit le même par unité de surface, à savoir un volume environ 30000 fois plus grand : α Scorpion est une étoile géante, l'autre est une étoile naine ; la densité moyenne de la première est quarante mille fois moindre que la densité moyenne de la deuxième. La même distinction se fait parmi les étoiles des différents types K, G, F des étoiles jaunes : le Soleil est une étoile jaune et naine. Les étoiles bleues ne souffrent plus cette distinction : elles sont intermédiaires entre les étoiles géantes et les étoiles naines (2).

(1) 34 Groombridge est une étoile double de la constellation d'Andromède ; ses composantes sont de la huitième et de la onzième grandeur ; sa distance au Soleil est de 11,6 années de lumière.

(2) Les cosmogonistes considèrent la classification spectrale des étoiles géantes et naines comme liée de la manière suivante à l'évolution stellaire. Au début de son existence l'étoile serait géante et rouge ; son volume diminuant, sa température augmenterait et elle commencerait d'appartenir à la classe des étoiles jaunes ; la contraction continuant et l'étoile parcourant les divers types de la classe des étoiles bleues, il arriverait une phase où la chaleur due à cette contraction ne compenserait plus la chaleur perdue par rayonnement, et l'astre, devenant une étoile naine, repasserait par les types spectraux des températures decroissantes, jusqu'à la classe des étoiles rouges. Cette hypothèse due à N. Lockyer (*Further Researches on the Temperature Classification of Stars*, PR. R. S., t. 73, 1904, p. 227) a été précisée par H. N. Russell ; elle est exposée dans H. Poincaré, *Les Hypothèses cosmogoniques*, Paris, 1911, p. 229. Articles récents : G. Zappa, *Riflessione sulle stelle giganti e nane nell'evoluzione stellare*, MEMORIE DELLA SOCIETA ASTRONOMICA ITALIANA, nouv. série, t. 1 (1920-1921), p. 73; A. Véronnet, *Constitution physique des étoiles géantes*, B. A. MÉM., t. 2 (1922), p. 409; W. D. Macmillan, *L'évolution cosmique*, SCIENTIA, t. 33 (1923), pp. 3 et 103.

H. Deslandres et V. Burson ont retrouvé dans quelques étoiles jaunes, comme le Soleil, les raies du calcium caractéristiques des couches moyenne et supérieure de la chromosphère solaire. Voilà donc deux étoiles, l'une géante et l'autre naine, ayant à la surface la même composition chimique, la même température et le même éclat par unité de surface. Comment expliquer la différence entre les éclats de leurs atmosphères ? Telle est la question que s'est posée H. Deslandres ; il y répond de la manière suivante (1). Les raies considérées du calcium sont des raies renforcées, du type des raies d'étincelle, dues à l'atome de calcium ionisé. L'éclat de chaque couche concentrique à la surface de l'étoile croît avec le nombre d'ions formés dans chaque unité de surface de cette couche. Le nombre total des ions formés est donc plus grand dans l'étoile géante. « Or une des causes principales d'ionisation est l'émission intense d'électrons par la surface portée dans les étoiles jaunes à une température voisine de 6000° ; mais l'effet de cette cause est le même dans les deux types d'étoiles. Pour expliquer l'éclat plus grand dans l'étoile géante, il faut que cette dernière offre une autre cause d'ionisation qui lui soit spéciale ou qui soit plus importante que dans l'étoile naine. La cause principale, dit l'auteur, me paraît être un rayonnement pénétrant émis par les couches intérieures de l'astre ; ce rayonnement est plus fort dans l'étoile géante qui a une masse plus grande et donc des températures intérieures plus élevées » (2).

Eddington cite une étoile géante dont la masse n'est qu'une fois et demie celle du Soleil, et dont la température au centre serait voisine de cinq millions de degrés (3). A cette température correspond un rayonnement commençant à un rayon X voisin de l'ultra-violet et peu pénétrant, mais s'étendant très loin vers les rayons de longueur d'onde très courte, « dont la pénétration est beaucoup plus grande,

(1) H. Deslandres, *Émission de rayons X, ultra X et corpusculaires par les corps célestes*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 506.

(2) Dans la phase actuelle de l'évolution stellaire, les étoiles geantes semblent avoir des masses allant de 7 à 13 fois celle du Soleil, les étoiles naines de 0,4 à 5,4 fois (Russell).

(3) A. S. Eddington, *On the Conditions in the Interior of a Star*, Aph. J., t. 48 (1918, 2), p. 205.

et l'intensité de ces radiations extrêmes croît avec la température de l'astre. L'émission de radiations particulièrement pénétrantes pour l'étoile géante est donc admissible. De plus, avec les étoiles géantes qui sont dans la phase où la température s'élève, les atomes sont dissociés et leur rupture entraîne une émission intense de rayons α, β, γ... Tous ces rayonnements de très haute fréquence et de grande pénétration ne forment qu'une partie très infime de leur rayonnement total ; mais leurs propriétés électriques remarquables leur assurent un rôle, dont l'importance s'affirme déjà, et j'estime, dit H. Deslandres, qu'ils donneront la clef de plusieurs énigmes parmi celles, encore nombreuses, que présentent les corps célestes ».

Système stellaire

Distances des étoiles. — La méthode trigonométrique pour la mesure des distances stellaires équivaut à une triangulation effectuée de deux ou plusieurs points distribués le long de l'orbite terrestre (1). La méthode spectroscopique due à W. S. Adams (1916) consiste dans une relation entre la grandeur apparente (mesurée au photomètre), la grandeur absolue (déduite de l'observation spectroscopique) et la distance de l'étoile (2).

(1) Discussion récente des erreurs à craindre dans l'application de la méthode trigonométrique : G. Schnauder, *Ueber das System der trigonometrischen Parallaxen*, A. N., t. 217 (1922-1923), n° 5185.

(2) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2 (1922, 2), p. 178 (p. 11 du tiré-à-part). — Nouvelle étude comparative des deux méthodes : G. Strömberg, *Systematic Corrections to Spectroscopic and Trigonometric Parallaxes*, Aph. J., t. 56 (1922, 2), p. 139.

La *parallaxe* est en raison inverse de la distance ; elle s'exprime en secondes. Le *parsec* est la distance correspondant à une parallaxe d'une seconde ; elle équivaut à 1190 jours-lumière. — La *grandeur absolue* d'une étoile est la grandeur apparente qu'elle aurait à un parsec de distance.

Une méthode analogue à la méthode spectroscopique avait permis à H. Shapley (Harvard) une première évaluation de la *distance des amas stellaires*. Ses résultats ont été corrigés récemment par les astronomes de l'école de Kapteyn (Groningen) de manière à être

Dans la mise en œuvre de ce principe, la difficulté réside dans la détermination spectroscopique de la grandeur absolue. W. S. Adams et H. Joy (Mount-Wilson) viennent de rendre plus sûre cette détermination en ce qui concerne, principalement, les étoiles du type A (1). La classification de ces étoiles a été faite d'après l'intensité des raies de l'hélium ; elle commence vers la fin du type B et se termine vers le début du type F, de façon que le type A y soit partagé en dix catégories : B8, B9, A0, A1,... A9, F0, F1. A toutes ces catégories, on peut faire correspondre des numéros, comme de 8 à 21. Considérons des étoiles du type A dont la distance est connue par la méthode trigonométrique ; la relation d'Adams permet le calcul de leur grandeur absolue, et on aperçoit que celle-ci peut s'exprimer assez simplement en fonction du numéro du sous-type spectral auquel appartient l'étoile considérée. La méthode consiste à étendre cette relation à toutes les étoiles du type A, à en déduire leurs grandeurs absolues, et, par conséquent, leurs distances (2).

réduits à des distances comprises entre 5000 et 27000 années de lumière. Sur l'ensemble de la question, voir A. Crommelin (Greenwich), *The Distances of the Globular Clusters*, OBS., t. 45 (1922), p. 138.

(1) W. S. Adams et H. Joy, *A Spectroscopic Method of determining the Absolute Magnitudes of A type Stars, and the Parallaxes of 544 Stars*, APH. J., t. 56 (1922, 2), p. 242.

(2) Les auteurs appliquent leur méthode à 544 étoiles. L'étoile la plus éloignée qui s'y rencontre a une parallaxe de 0",003, ce qui correspond à un peu plus de 1000 années de lumière. Ce nouveau catalogue de parallaxes met en évidence une relation simple entre la parallaxe et le mouvement propre (angulaire).

E. Hertzsprung (Leide) a publié la liste des étoiles les plus proches du système solaire, jusque la parallaxe de 0",200 : *List of Stars nearer than five Parsecs*, BULLETIN OF THE ASTRONOMICAL INSTITUTES OF THE NETHERLANDS, 1922, n° 5.

Distance des nébuleuses. — C. H. Gingrich (Mount Wilson) a mesuré les parallaxes d'un groupe d'étoiles qui semblent bien avoir un lien physique avec une petite nébuleuse irrégulière de leur voisinage ; la parallaxe moyenne de ces étoiles est attribuée à la nébuleuse et donne, pour celle-ci, une distance de 350 années de lumière : *Parallaxes of Stars in the Region of B. D.* + 31°643, APH. J., t. 56 (1922, 2), p. 139.

L'étude de la distance de la nebuleuse d'Andromède a été reprise :

Les coordonnées galactiques. — L'étude du mouvement diurne et la découverte de l'axe du monde ont imposé à l'Astronomie la constitution d'un système d'axes coordonnés dont l'un, l'axe des z, appartienne à l'axe du monde. Il résulte de ce choix et des lois du mouvement diurne que la direction issue de l'origine des coordonnées (œil de l'observateur ou centre de la Terre, suivant que le système est local ou géocentrique) et passant par une étoile quelconque fait un angle constant avec le plan perpendiculaire à l'axe du monde, le plan de l'équateur : à l'approximation à laquelle les lois du mouvement diurne sont vraies, la déclinaison de toute étoile est constante. Pour qu'il en soit de même de la deuxième coordonnée polaire complétant la définition d'une direction issue de l'origine, coordonnée qui sera mesurée dans le plan de l'équateur, il faut qu'elle le soit à partir d'une direction de ce plan qui obéisse elle-même aux lois du mouvement diurne, comme le ferait, toujours à la même approximation, la projection sur le plan de l'équateur d'une droite joignant l'origine des coordonnées à une étoile quelconque choisie une fois pour toutes. Abandonnant les coordonnées locales au profit des coordonnées géocentriques, on a préféré adopter pour cette droite dirigée celle à la partie positive de laquelle appartient l'une des demi-droites d'intersection de l'équateur et du plan de l'écliptique, l'équinoxe de printemps : la deuxième coordonnée ainsi définie (au sens près) est l'ascension droite.

En créant ce système de coordonnées équatoriales, et en comptant sur cette définition pour que les deux coordonnées polaires correspondantes puissent servir à la création d'un catalogue d'étoiles valable indéfiniment, quelles sont les hypothèses que l'on a faites implicitement ? On a consi-

les divergences sont encore énormes, du simple au décuple dans l'ordre de grandeur du million d'années de lumière : C. Luplau-Janssen et G. Haarh (Copenhague), *Die Parallaxe des Andromeda-Nebels*, A. N., t. 215 (1921-1922), n° 5149. — E. Oepik, *An Estimate of the Distance of the Andromeda-Nebula*, Aph. J., t. 55 (1922, 1), p. 406 : ce dernier travail étudie l'équilibre dynamique et thermique de la nébuleuse ; la masse de celle-ci vaudrait $4,5 \times 10^9$ fois la masse du Soleil : ce serait un univers comparable à tout notre univers galactique.

déré comme une gerbe indéformable l'ensemble des droites issues du centre de la Terre et passant par les étoiles. On a admis l'invariabilité de l'orientation, par rapport à cette gerbe stellaire, du plan de l'équateur et du plan de l'écliptique. Or, ces hypothèses simplificatrices vont s'écrouler l'une après l'autre.

Dans la recherche d'une explication simple du mouvement des planètes, les axes coordonnés sont transportés parallèlement à eux-mêmes de façon que la nouvelle origine soit le centre du Soleil : c'est le passage des axes géocentriques aux axes héliocentriques. La gerbe stellaire géocentrique et la gerbe stellaire héliocentrique ne peuvent pas être simultanément invariables. L'observation montre que l'invariabilité de la gerbe géocentrique n'était qu'une hypothèse approchée, tandis que l'invariabilité de la gerbe héliocentrique se vérifie à une bien meilleure approximation : elle restera valable pendant une longue période encore dans l'évolution de la connaissance du monde.

Cependant, les coordonnées polaires des étoiles ne restent pas constantes, et leurs variations présentent un caractère systématique qui les fait attribuer à des changements lents ou petits d'orientation du plan de l'équateur et du plan de l'écliptique par rapport à la gerbe stellaire héliocentrique. On peut néanmoins se contenter des coordonnées équatoriales utilisées jusqu'ici, se résigner à ce que, malgré l'invariabilité de la gerbe stellaire, les coordonnées polaires des étoiles soient des fonctions du temps : pourvu qu'on sache de quelle manière elles varient, il n'en résultera qu'une plus grande longueur des calculs où elles entreront.

La question ne présente donc aucun intérêt de principe pour le théoricien pur. Mais, pour le praticien, la longueur des calculs et l'accroissement correspondant des chances d'erreur a une importance énorme. Bien que cette réforme ne soit pas encore entrée dans les habitudes aujourd'hui, on peut dire que les nécessités pratiques imposent à l'astronomie la définition et l'adoption d'un système de coordonnées dans lequel, à l'approximation actuelle, qui est celle de l'invariabilité de la gerbe stellaire héliocentrique, les deux coordonnées polaires de toute étoile soient des constantes : cette définition et cette adoption sont nécessaires à la construction d'un catalogue définitif des étoiles.

Ce nouveau système sera nécessairement héliocentrique comme celui auquel il va se substituer. Dès lors, il sera complètement défini (au sens près, pour lequel un mot suffit) par le choix de son axe des x et d'une direction à laquelle doive appartenir son plan des xz; par exemple, que l'axe des z passe, dans sa partie positive, par telle étoile, et que telle autre étoile ait un angle de position nul ; ou bien, plus généralement, que telle étoile qui avait telle ascension droite et telle déclinaison dans le système équatorial de telle époque ait telle et telle coordonnées polaires dans le nouveau système, et que telle autre étoile définie de la même manière, ait telle valeur pour l'une ou l'autre de ses deux coordonnées polaires nouvelles. Cette définition est toute remplie d'adjectifs indéfinis : les nombres sur lesquels on se mettra d'accord pour les remplacer sont absolument indifférents.

Encore faut-il qu'on se mette d'accord. Or, la sphère étoilée, perspective sphérique de la gerbe stellaire, présente une zone dans laquelle les rayons de cette gerbe se pressent en nombre extrêmement grand : c'est la voie lactée. Cet immense amas d'étoiles fait le tour du ciel, limité par des contours fort irréguliers. Malgré ces irrégularités, on parle d'un plan moyen de la voie lactée. Quelle est la définition de ce plan moyen ? Ceci est bien difficile à préciser.

Comme la voie lactée fait le tour du ciel, à peu près suivant un grand cercle de la sphère étoilée, et que la distance du Soleil à la Terre est, dans cette question, tout à fait négligeable vis-à-vis de celle du Soleil aux étoiles, nous pouvons déjà demander que le plan cherché passe par le centre du Soleil. Dès lors, deux conditions simples sont nécessaires et suffisantes à sa définition. Il est insuffisant de demander que le nombre des étoiles soit le même de chacun des deux côtés de ce plan, car ceci n'est qu'une condition simple, mais la définition sera complète sous la condition suivante qui équivaut à deux conditions simples : on considère les intersections de tous les rayons de la gerbe stellaire avec une sphère de rayon quelconque, et on demande que soit minimum la somme des carrés des distances de ces intersections au plan à définir. C'est à peu près cette définition qu'a adoptée S. Newcomb : à peu près seulement, car, au lieu de l'appliquer à toutes les étoiles, ce qui était im-

praticable, il l'a appliquée à 42 points répartis le long de la voie lactée. La normale au plan moyen ainsi obtenu a des coordonnées : ascension droite et déclinaison de $\alpha = 192^{\circ},8$ et $\delta = 27^{\circ},2$ pour l'équateur et l'écliptique de 1900 (1).

Qu'il soit défini à la manière de Newcomb ou de toute autre manière manifestant la même tendance, le plan moyen de la voie lactée s'appelle le *plan galactique*. C'est le plan galactique qu'adoptent, comme plan des *xy*, les astronomes qui désirent lier les axes coordonnés à la gerbe stellaire : les deux directions héliocentriques perpendiculaires à ce plan sont celles des pôles galactiques, et les deux coordonnées polaires prennent les noms de longitude et de latitude galactiques. R. Innes (Johannesbourg), dans une série de travaux récents, s'est fait le champion de leur adoption, déjà proposée par J. Herschell, et H. Philippot (Uccle) vient de consacrer à cette question une étude importante, développement d'un rapport présenté au Comité national d'Astronomie de Belgique (2).

Le plan des *xy* adopté, il faut décider (outre du sens de rotation) de l'orientation du plan des *xy* : on choisit ce plan de façon que l'apex du Soleil ait une longitude galactique nulle dans sa situation d'aujourd'hui.

Mais, il n'y a même pas accord sur la définition du plan galactique, et ce n'est que très grossièrement qu'on connaît la direction de l'apex. Nous savons que ceci n'a aucune importance : ces éléments pourraient être quelconques ; on fera bien de ne pas retarder l'adoption des coordonnées galactiques sous prétexte d'une meilleure détermination des grandeurs qui les définissent vis-à-vis du système équatorial; et rien n'empêche d'adopter des nombres simples comme des coordonnées équatoriales du pôle galactique $\alpha = 100^{\circ}$ et $\delta = 27^{\circ}$ pour telle époque. C'est de la même manière que, dans l'intention des fondateurs du système mé-

(1) S. Newcomb, *On the Position of the Gallactic and other Planes towards which the Stars tend to crowd*, CONTRIBUTIONS OF THE CARNEGIE INSTITUTION (Washington), n° 10 (1904), p. 17.

(2) R. Innes, circulaires n°s 2, 5, 6... de l'Union Observatory. — H. Philippot, *L'usage des coordonnées galactiques*, Bruxelles, 1922, publié d'abord dans l'ANNUAIRE DE L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE pour 1923.

trique, le mètre devait être telle fraction du méridien terrestre, et que, cependant, les progrès de la géodésie n'ont pas fait modifier la longueur adoptée au début pour unité de mesure des longueurs.

N'y a-t-il donc aucune différence essentielle entre l'adoption des coordonnées galactiques et celle des coordonnées équatoriales à telle époque choisie une fois pour toutes ? D'essentielle, il n'y en a aucune, de même que, l'objet essentiel de la réforme du système des mesures à la fin du XVIIIe siècle étant l'uniformisation des unités, on aurait pu adopter pour unité de longueur celle d'une barre quelconque soigneusement conservée, sans qu'il eût fallu reprendre la triangulation longue et coûteuse d'un arc de méridien. Cependant, les coordonnées galactiques présentent subsidiairement quelques avantages, et ceux-ci sont d'ordre didactique, pratique et cosmogonique.

Les coordonnées équatoriales (et écliptiques) sont définies par les mouvements de rotation et de translation de la Terre autour du Soleil par rapport à l'ensemble des étoiles : pourquoi lier les étoiles à ces éléments géomorphiques ? A l'approximation suivante, grâce aux coordonnées nouvelles, on s'apercevra des mouvements propres des étoiles et les coordonnées galactiques simplifieront l'étude de ces mouvements ; de même, il y a une approximation à laquelle, dans la recherche de la structure de l'univers, on pourra considérer le plan galactique comme un plan de symétrie et la ligne des pôles galactiques comme l'axe de révolution ou une parallèle à l'axe de révolution de l'amas stellaire auquel appartient notre Soleil. Enfin, les cosmogonistes qui considèrent cet amas comme dû à l'évolution d'une nébuleuse étudient la rotation de celle-ci autour d'un axe qui se retrouverait dans une perpendiculaire au plan galactique (1).

(1) Le mémoire de H. Philippot se termine par le tableau des principales déterminations du pôle galactique. Les travaux astronomiques de 1922 en ont apporté une nouvelle : J. Baillaud et Melles Bonnet, Clavier et Lhomme, *Distribution des étoiles dans la zone de Paris du catalogue astrophotographique*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 22 ; J. Baillaud, *Coordonnées du pôle galactique déduites de la distribution des étoiles dans la zone de Paris du catalogue astrophoto-*

J.C. Kapteyn. — Le grand astronome hollandais J.C. Kapteyn est mort à Amsterdam le 18 juin 1922, à l'âge de 71 ans (1). Étudiant à l'université d'Utrecht de 1869 à 1875, il fut pendant deux ans assistant à l'observatoire de Leide. En 1878, nommé professeur à l'université de Groningen, il y assuma l'enseignement de l'Astronomie, du Calcul des probabilités et de la Mécanique céleste.

L'université de Groningen ne possédait pas d'observatoire et pendant les premières années de son professorat Kapteyn fit tous ses efforts pour s'en ménager un. Il dut y renoncer : c'est alors que, à défaut d'observatoire, il créa ce Laboratoire d'Astronomie, sorte de bureau de calculs et de recherches astronomiques, d'où devaient sortir de si belles découvertes.

Dans la leçon d'ouverture de son cours d'Astronomie, Kapteyn avait pris pour sujet la parallaxe des étoiles fixes. C'est à cette question qu'il consacra la première partie de sa carrière scientifique ; les deux autres grandes questions, étroitement connexes, qui le préoccupèrent ensuite furent les mouvements propres des étoiles et la constitution de l'Univers. Les travaux sur les parallaxes stellaires et les mouvements propres vont être rappelés brièvement. Ce qui concerne la constitution de l'Univers sera traité à part,

graphique, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 144. La partie de cette zone pour laquelle le travail est terminé est comprise entre les parallèles de 20 et 25°. La densité des étoiles (en perspective sur la sphère étoilée) y présente de curieuses variations en ascension droite, avec des maxima très prononcés dans le voisinage de 6 h. et 21 h. Si l'axe galactique est considéré moyennement comme un axe de symétrie du système solaire, la dissymétrie de ces variations montre que l'axe du monde est sensiblement éloigné de l'axe galactique. Cet axe est alors la droite par rapport à laquelle ces condensations latérales s'équilibrent le mieux. L'auteur montre que, *sous ce rapport*, le pôle galactique déterminé par Kapteyn ($\alpha = 190^\circ,5$, $\delta = 27^\circ 13'$) n'est pas très satisfaisant et doit être remplacé par $\alpha = 200^\circ,5$, $\delta = 27^\circ,2$. L'étroitesse de la zone étudiée et sa distance à la voie lactée ne semblent pas justifier cette substitution, mais la faible divergence des deux résultats est très remarquable.

(1) Notices : A. Van Maanen, *J. C. Kapteyn* (1851-1922), Aph. J., t. 56 (1922, 2), p. 145 ; A. S. Eddington, *Jacobus Cornelius Kapteyn*, Obs., t. 45 (1922), p. 261 ; F. H. Seares, *J. C. Kapteyn*, A. S. Pac., t. 34 (1922), p. 233.

d'importantes études de Kapteyn sur ce sujet ayant vu le jour en 1922.

En 1882, on ne connaissait encore que les parallaxes de 34 étoiles (1) dont les meilleures avaient été déterminées à l'héliomètre par Gill et Elkin à l'observatoire du Cap. Durant les premières années de son professorat, Kapteyn entreprit une série d'observations à l'observatoire de Leide dont H. G. van de Sande Backhuizen était alors le directeur. Il appliqua la méthode différentielle des observations en ascension droite, dont la discussion et les résultats se trouvent dans le tome VII des ANNALS OF THE LEIDEN OBSERVATORY. C'est en 1889, au Congrès de la carte du ciel, que Kapteyn proposa sa méthode photographique pour la détermination des parallaxes stellaires.

Le principe de la méthode photographique n'est pas dû à Kapteyn. Avant lui, les coordonnées de l'étoile étudiée se mesuraient sur des clichés pris à différentes époques de l'année, et la première application en avait été faite par Pritchard à Oxford à la petite étoile 61 du Cygne, l'une des plus proches du Soleil. Mais l'originalité de la méthode de Kapteyn consistait à prendre les photographies sur une même plaque, conservée sans qu'elle soit développée, et replacée chaque fois dans la même position exactement. Le déplacement des images correspondantes permet alors le calcul de la parallaxe de toutes les étoiles représentées sur le cliché. Les premiers résultats furent publiés en 1900, et inaugurèrent les PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL LABORATORY AT GRONINGEN.

La détermination des distances est inséparable de celle des mouvements propres, et cette dernière est inséparable de celle du déplacement du Soleil. Il y a lieu de discuter la définition même de ces mouvements propres et de ce déplacement du Soleil, mais ce n'en est pas, dans cette revue, l'endroit. Quoi qu'il en soit, la ligne de conduite de Kapteyn consista à négliger les mouvements particuliers à chaque étoile pour ne faire que des études statistiques sur les distances moyennes et mouvements propres moyens de

(1) J. Jackson, *Early Estimates of Stellar Distances*, OBS., t. 34 (1922), p. 341.

groupes définis par la grandeur, le type spectral et la latitude galactique des étoiles qui constituent chacun d'eux.

Au cours de ces études, la grande découverte de Kapteyn fut celle de la distribution de tous les mouvements propres en deux grands courants stellaires passant dans le voisinage du Soleil dans des directions faisant entre elles un angle d'environ 140°, l'une vers un point situé à 7° au sud de Bételgeuse (α Orion), l'autre vers un point situé à quelques degrés au sud de η Sagittaire. Kapteyn n'attribuait à ces résultats qu'une valeur de première approximation: la question reste à l'étude et est actuellement l'objet d'une coopération internationale (1).

La structure de l'Univers. — C'est dans les nos 27, 29 et 30 des PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL LABORATORY AT GRONINGEN qu'on retrouvera les premières recherches de Kapteyn sur la répartition des étoiles (2).

Dans ses recherches sur la répartition des étoiles, Kapteyn a continué d'appliquer la méthode statistique qu'il avait utilisée dans l'étude des mouvements propres. Dans cette question nouvelle, l'hypothèse initiale fut d'admettre une loi d'après laquelle les distances stellaires pourraient, du moins d'une manière statistique, s'exprimer en fonction des grandeurs apparentes et des mouvements propres (3). En d'autres termes, qu'il soit possible d'attribuer à toute étoile une case dans un tableau à double entrée, dont les colonnes auraient pour en-tête des mesures de mouvements

(1) J. H. Jeans, *The Motions of Stars in a Kapteyn Universe*, M. N., t. 82 (1921-1922), p. 122 ; du même auteur dans SCIENTIA, *Les mouvements des étoiles* (t. 33, 1923, p. 181).

(2) Travaux récents : J. C. Kapteyn et J. van Rhijn (Groningen), *On the Distribution of Stars in Space especially in the high Gallactic Latitudes*, APH. J., t. 52 (1920, 2), p. 23 ; mêmes auteurs, *On the Upper Limit of Distance to which the Arrangement of Stars in Space can at present be determined with some Confidence*, APH. J., t. 55 (1922, 1), p. 242 ; J. C. Kapteyn, *First Attempt at a Theory of the Arrangement and Motion of the Sidereal System*, APH. J., t. 55 (1922, 1), p. 302.

(3) W. Luyten, *On the Relation between Parallax, Proper Motion and Apparent Magnitude*, LICK OBS. BULL., t. 10 (1918-1923), no 336.

propres et dont les lignes auraient pour arguments des nombres exprimant des grandeurs visuelles, de façon que la parallaxe moyenne de toutes les étoiles de chaque case soit telle fonction simple des deux grandeurs qui définissent cette case ; et la forme de cette fonction étant adoptée, la Théorie des erreurs permet le calcul des valeurs les plus avantageuses de ses coefficients. Mais la grandeur apparente est elle-même une fonction connue de la distance et de la grandeur absolue. Autant vaut dire, par conséquent, que l'on peut exprimer la distance en fonction du moyen mouvement et de la grandeur absolue.

L'énoncé d'une deuxième loi statistique découverte par Kapteyn exige la définition de la densité stellaire : l'unité de distance étant le parsec, c'est-à-dire la distance correspondant à une parallaxe d'une seconde, chemin parcouru par la lumière en 1190 jours, on a appelé densité stellaire en un point le rapport du nombre d'étoiles qui se trouvent dans 1000 parsecs cubes au voisinage de ce point au nombre d'étoiles qui se trouvent dans le même volume au voisinage du Soleil ; ainsi, la densité stellaire est définie de manière qu'elle soit mesurée par l'unité dans le voisinage du Soleil.

Or, pour toutes les étoiles dont la parallaxe et par conséquent la grandeur absolue sont connues, Kapteyn découvre une loi simple entre cette grandeur absolue et la densité stellaire de la région à laquelle elle appartient.

On se trouve ainsi en possession de deux lois entre lesquelles l'élimination de la grandeur absolue va laisser une relation entre la distance, le mouvement propre et la densité stellaire. L'application de cette loi à la mesure des mouvements propres dans toute direction issue du Soleil, permettra donc de connaître de quelle manière varie la densité stellaire le long de cette direction. En d'autres termes, il existe une fonction (qui se montre une exponentielle d'un binome du second degré du logarithme de la distance) exprimant la densité stellaire au moyen de la distance au Soleil, et dont les coefficients prennent des valeurs propres correspondant à tout couple de nombres définissant une longitude et une latitude galactiques. Proposons nous une densité stellaire quelconque, telle que 0,4 ; calculons les valeurs

correspondantes de la distance par des directions issues du Soleil suffisamment nombreuses : tous les points situés à ces distances du Soleil sur ces directions respectives appartiennent à une surface de densité stellaire égale à 0,4.

Malgré toutes les simplifications statistiques le problème resterait encore inextricable. Mais Kapteyn remarque que les coefficients de la fonction qui exprime la densité au moyen de la distance restent sensiblement les mêmes lorsque, la latitude galactique ne changeant pas, la longitude galactique varie seule, et, de même, lorsque la latitude ne fait que changer de signe. C'est ce qui lui permet d'introduire les hypothèses simplificatrices suivantes : il n'y a nulle part de densité supérieure à l'unité, et, par conséquent, toute surface d'égale densité stellaire limite une portion d'espace à laquelle appartient le Soleil ; toute pareille surface est symétrique par rapport au plan galactique et de révolution autour de la droite passant par le Soleil et perpendiculaire à ce plan.

Après un essai de surfaces compliquées et assez impropres au traitement mathématique, Kapteyn conclut, pour les surfaces de même densité stellaire, à des ellipsoïdes aplatis et semblables, avec un diamètre équatorial $2a$ cinq fois plus grand que le diamètre polaire $2b$ ($a = 5{,}1b$), d'après le tableau suivant :

densité stellaire	=0,630	*a*=602 *pars.*	=1962 *a.lum.*	*b*=118 *pars.*	=385 *a.lum.*
	0,398	1010	3292	198	645
	0,251	1510	4921	296	965
	0,159	2106	6867	413	1346
	0,100	2820	9194	553	1803
	0,063	3656	11921	717	2337
	0,040	4600	14907	902	2941
	0,025	5675	19522	1114	3632
	0,016	6960	22694	1365	4450
	0,010	8465	27599	1660	5412

Ces résultats sont encore insuffisants à expliquer bien des faits d'observation. Aussi une nouvelle approximation doit-elle être abordée dans laquelle, tout en laissant à notre univers stellaire la structure générale qui vient d'être

établie, on renoncera à placer le Soleil au centre commun de ces ellipsoïdes. En d'autres termes, dans un système d'axes coordonnés ayant ce point pour origine et le plan de symétrie pour plan des *xy*, on devra chercher à cette nouvelle approximation des coordonnées du Soleil préférables à (0,0,0).

De recherches d'Hertzsprung sur les Céphéides il résulte que le Soleil se trouve à 38 parsecs ou 124 années de lumière au nord du plan de symétrie (1). Interprétant les deux courants stellaires qui s'aperçoivent dans le voisinage du Soleil comme des déplacements à peu près circulaires dans des plans peu inclinés sur le plan de symétrie, Kapteyn conclut que le Soleil se projette sur ce plan en un point dont la distance au centre des ellipsoïdes d'égale densité est voisine de 650 parsecs ou 2119 années de lumière (2).

Diamètres stellaires

Lorsque les rayons lumineux émanés d'une source ponctuelle traversent un écran par deux fentes parallèles, les pinceaux de rayons définis par ces fentes interfèrent, et l'image recueillie sur un plan interposé se compose d'une mince bande centrale et de bandes latérales dont l'éclat décroît rapidement. Si la source présente par rapport au lieu d'observation un diamètre angulaire sensible, les bandes s'élargissent, et à chaque valeur du diamètre angulaire correspond une distance des fentes pour laquelle les bandes, empiétant suffisamment les unes sur les autres, deviennent indiscernables au point que l'éclairement du champ est uniforme. Inversement, l'observation de cette uniformité d'éclairement, moyennant une distance réglable des fentes, et la mesure de leur distance permettent le calcul du diamètre

(1) E. Hertzsprung, *Ueber die räumliche Verteilung der Veränderlichen von δ Cephei-Typus*, A. N., t. 196 (1913-1914), n° 4692.

(2) Au cours de ses recherches citées plus haut sur la position du pôle galactique d'après la distribution des étoiles dans la zone de Paris du catalogue astrophotographique, J. Baillaud a établi les coordonnées polaires du Soleil par rapport aux axes de symétrie de l'univers galactique : *Quelques données sur la constitution de l'amas galactique...* C. R., t. 175 (1922, 2), p. 256 ; ses résultats sont tout à fait d'accord avec ceux de Kapteyn.

angulaire de la source. Cette méthode indiquée par Fizeau dès 1868 a fait récemment l'objet d'importants travaux théoriques de M. Hamy (Paris) et a été appliquée par A. A. Michelson, à Mount-Wilson, d'abord à la distance angulaire des composantes d'une étoile double (1), puis aux diamètres angulaires des étoiles (2). En ce qui concerne ces diamètres angulaires, un premier résultat indiqué ici l'an dernier était relatif à Bételgeuse (α Orion) dont le diamètre angulaire s'est montré égal à 0",047 ; eu égard à la distance de cet astre, ceci correspond à un diamètre linéaire égal à 275 fois celui du Soleil ; cette observation date de décembre 1920. Depuis cette époque, le diamètre de la même étoile a été mesuré plusieurs fois : un an plus tard, F. G. Pease (Mount-Wilson) trouvait un diamètre angulaire de 0",034, qui devait encore descendre en octobre 1922 (3). Il est actuellement difficile d'interpréter ces variations. Simplement se peut-il que les conditions de visibilité étaient meilleures dans la dernière observation ; il se peut aussi que le diamètre de l'étoile soit variable : dans cette hypothèse, le diamètre de Bételgeuse aurait passé en deux ans de 275 fois à 200 fois celui du Soleil.

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 2), p. 268 (p. 26 du tiré-à-part). — Article récent : R. W. Merril (Mount-Wilson), *Interferometer Observations of Double Stars*, APH. J., t. 56 (1922, 2), p. 40. L'étude de Capella a été reprise et a fourni de meilleures valeurs pour les éléments de l'orbite ; celle d'autres étoiles a été entreprise.

(2) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2 (1922, 2), p. 180 (p. 13 du tiré-à-part). — En 1922, M. Hamy a poursuivi ses travaux théoriques : *Sur la détermination du diamètre des étoiles par la méthode interférentielle*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 904 ; *Sur le calcul d'une intégrale double qui se présente dans la théorie de la diffraction des images solaires par une fente rectangulaire*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 606 ; *Sur la mesure interférentielle des faibles diamètres*, même vol. p. 1123. — Sur les méthodes indirectes pour l'évaluation des diamètres apparents, voir J. S. Plaskett (Dominion Obs.), *The Dimensions of the Stars*, A. S. PAC., t. 34 (1922), p. 79. — Sur la détermination des dimensions d'après l'éclat, voir H. N. Russell, *The Probable Dimensions of the Stars*, A. S. PAC., t. 32 (1920), p. 307.

(3) F. G. Paese, *Possible Variations of α Orionis*, A. S. PAC., t. 34 (1922), p. 346.

Les recherches interférentielles ont porté aussi sur Arcturus (α Bouvier) (1). La distance des fentes (ou des miroirs équivalents) a dû être portée à 19,5 pieds, ce qui indique un diamètre angulaire de 0",024 et correspond, pour une parallaxe de 0",100 (Obs. Yerkes), à un diamètre linéaire égal à 25 fois celui du Soleil. — Par la même méthode, le diamètre apparent d'Antarès (α Scorpion) a été estimé à 0",038, d'où, pour une parallaxe de 0",103, un diamètre linéaire égal à 310 fois celui du Soleil.

L'observation d'Aldébaran (α Taureau), de β Gémeaux (Pollux) et de α Baleine n'a pas encore permis de conclusions certaines. Il semble que, pour Aldébaran, la disparition des franges doit se faire moyennant une distance des miroirs égale à 22 pieds (2), ce qui lui ferait attribuer un diamètre angulaire de 0",018 (3) et, eu égard à sa parallaxe de 0",073, un diamètre linéaire égal à 26 fois celui du Soleil.

La méthode interférentielle de Fizeau-Michelson exige une distance considérable entre les deux faisceaux interférents, distance qui peut atteindre 12 m. pour un diamètre angulaire de 0",01. De plus, les franges s'évanouissent progressivement sans qu'il soit possible de faire sur leur netteté des mesures quantitatives. A. Danjon (Strasbourg) cherche à écarter ces deux inconvénients par une nouvelle méthode interférentielle (4). Dans l'observation d'un fond éclairé, l'appareil fournit des franges rectilignes et parallèles alternativement claires et sombres. Si le fond, médiocrement éclairé, est

(1) F. G. Pease, *The Angular Diameter of α Bootis by the Interferometer*, A. S. W., t. 7 (1921), p. 177.

(2) F. G. Pease, *Interferometer Observations of Star Diameters*, A. S. Pac., t. 34 (1922), p. 183.

(3) Le diamètre angulaire de la source est fonction non seulement de la distance des deux faisceaux interférents, mais aussi de la longueur d'onde de la lumière reçue. En lumière non monochromatique, la longueur d'onde adoptée est celle d'une radiation équivalente à l'ensemble des radiations reçues et dite longueur d'onde efficace ; étude récente sur cette question : J. A. Anderson (Mount-Wilson), *The Wave-Length in Astronomical Interferometer Measurements*, Aph. J., t. 55 (1922, 1), p. 48.

(4) A. Danjon, *Sur une nouvelle méthode interférentielle pour la mesure du diamètre apparent des étoiles*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1408.

traversé par une source ponctuelle brillante, l'image de cette source s'éteint à chaque passage sur une bande sombre. Si l'éclairement du fond est supprimé, cette image s'éteint encore aux mêmes endroits, et passe par un maximum d'éclat sur l'emplacement qu'occupait chaque bande claire quand le fond était éclairé.

Si la source qui traverse le champ présente un diamètre sensible, l'éclat de son image passe par un minimum sur l'emplacement de chaque bande sombre et par unmaximum sur l'emplacement de chaque bande claire. Le rapport de ces éclats extrêmes est une fonction connue du diamètre angulaire de la source. Inversement, la mesure photométrique des éclats extrêmes permettra le calcul de ce diamètre angulaire. Dans la mesure de celui d'Orion il suffirait d'une distance de 10 cm. entre les deux faisceaux interférents (1).

L'Astronomie et la Relativité

La Mécanique de Galilée et de Newton équivaut à une première approximation de la Mécanique relativiste. Pour les relativistes il existe une approximation à laquelle les choses se passent conformément au principe de l'inertie et à la loi newtonienne de l'attraction, et dans l'immense majorité des applications cette approximation est satisfaisante : les différences entre les grandeurs calculées par la Mécanique classique et la Mécanique relativiste y sont inférieures aux erreurs d'observation, et les confrontations expérimentales y sont impuissantes à confirmer l'une des deux théories aux dépens de l'autre.

(1) Dans une curieuse lettre adressée à Obs., (t. 44, 1922, p. 320), R. Innes (Johannesbourg) fait remarquer que les occultations des étoiles brillantes par la Lune (le long du bord obscur) sont instantanées, tandis que celles des étoiles faibles ne le sont pas. Il en conclut que les étoiles brillantes seraient petites, et grandes les étoiles faibles. Eddington estime à 0″,043 le diamètre d'Antarès (à l'interféromètre 0″,038) ce qui correspond (dans telles circonstances) à une durée de disparition d'un quart de seconde : ce ne serait pas l'instantanéité. Inversement, l'occultation de telle étoile de la neuvième grandeur a pris une seconde, ce qui indiquerait un diamètre angulaire de 0″,5.

Ce n'est que dans quelques cas particuliers ou même exceptionnels que la Mécanique classique et la Mécanique relativiste conduisent à des résultats sensiblement différents. Il en est ainsi, par exemple, lorsque le phénomène étudié comporte des vitesses extrêmement grandes et comparables à celle de la lumière, soit qu'il s'agisse de la lumière elle-même, comme dans l'expérience de Michelson, soit qu'il s'agisse de ces particules extrêmement rapides émises par les corps radioactifs.

Il en est encore ainsi lorsque deux phénomènes semblables, comme le rayonnement électromagnétique d'un électron, sont étudiés dans des champs de gravitation dont les intensités sont très différentes : la Physique relativiste annonce une déviation des raies du spectre solaire vers l'extrémité rouge de celui-ci, vis-à-vis de la position des mêmes raies daus un spectre dû à une source terrestre (1).

Un phénomène périodique étudié dans les deux Mécaniques peut se représenter par des termes indiscernables au bout d'une période ou d'un petit nombre de périodes ; mais il arrive que, les périodes se succédant indéfiniment, la différence entre les deux conclusions devient appréciable et susceptible d'être retrouvée dans les observations. C'est le cas des révolutions planétaires : d'après la Mécanique classique, eu égard aux influences des autres membres du système solaire, le périhélie de Mercure tourne de 550″ par siècle, c'est-à-dire au bout de 415 révolutions, tandis que la Mécanique relativiste prédit un déplacement angulaire

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2 (1922, 2), p. 193 (p. 26 du tiré-à-part). — Le déplacement einsteinien des raies spectrales n'a pas donné lieu à des travaux dont les résultats aient été publiés en 1922. P. Salet (Paris) a confirmé les prévisions de A. Perot sur la faible pression dans l'atmosphère solaire : *Sur la pression de l'atmosphère des étoiles et du Soleil*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 151. — A. Perot (Paris) lui-même a repris cette mesure par les raies du fer et a trouvé une pression d'environ 35 cm. de mercure : *Mesure de la pression de l'atmosphère du Soleil*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 933. Il est donc de mieux en mieux établi que le déplacement des raies constaté l'année précédente par Perot est dû principalement à l'effet Einstein.

de 590", et c'est la Mécanique relativiste que confirme l'observation (1).

D'après la Physique relativiste, l'énergie lumineuse est pesante : elle subit l'influence d'un champ de gravitation. Dans un champ de gravitation dû à une masse unique ou prépondérante, un rayon lumineux est non plus rectiligne mais incurvé suivant un arc d'hyperbole dont le centre de symétrie du champ occupe le foyer. Considérons les deux extrémités A et B d'un pareil arc : A est la source lumineuse et B l'observateur. Celui-ci observe la source dans la direction de la tangente au rayon lumineux, et il en résulte, dans la direction de la source observée, une déviation égale à l'angle de cette tangente avec la corde BA. Si les deux points A et B sont extrêmement éloignés du foyer, cet angle est extrêmement voisin de celui des asymptotes de l'hyperbole : à une approximation donnée, dans la mesure des angles, telle que le centième de seconde, il existe une limite inférieure de ces distances, à partir de laquelle la déviation angulaire des rayons lumineux peut être prise égale à l'angle des asymptotes.

(1) Cette *Revue d'Astronomie* pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2, (1922, 2), p. 184 (p. 17 du tiré-à-part). — Le déplacement séculaire du périhélie de Mercure a fait récemment l'objet de nombreux travaux analytiques. Ces recherches ne se sont pas ralenties pendant la première partie de 1923, et il semble préférable de les réserver pour une étude d'ensemble dans la *Revue* de l'an prochain. Citons dès maintenant : J. Chazy, *Sur les vérifications astronomiques de la théorie de la relativité*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1157 ; A. Buhl, *Sur le mouvement séculaire du périhélie de Mercure*, C. R., t. 175 (1922, 2), p. 1040 ; G. J. Burns : *Relativity and the Motions of Perihelia*, THE JOURNAL OF THE BRITISH ASTRONOMICAL ASSOCIATION, t. 33 (1922-1923), p. 102 ; E. Pasquier, *Sur une modification élémentaire de la gravitation newtonienne permettant de faire disparaître le désaccord de cette loi avec le déplacement du périhélie de Mercure*, C. R., t. 176 (1923, 1), p. 498, et ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. 42 (1922-1923), 1re partie, p. 329. — Au Congrès de Rome de 1922 (ROME, p. 157), G. Armellini (Pise) a attiré l'attention sur les anomalies que présente, vis-à-vis de la Mécanique classique, le mouvement du cinquième satellite de Jupiter (le plus proche de la planète) : il y a lieu de multiplier les observations et de les confronter avec la Mécanique relativiste. Voir cette *Revue d'Astronomie* pour 1921, R. Q. S., 4me série, t. 2 (1922, 2), p. 189 (p. 22 du tiré-à-part).

Ce sont les circonstances qui se présentent lorsque la lumière d'une étoile arrive à l'observateur terrestre en passant très près de cette masse prépondérante qu'est le Soleil. Pour un rayon rasant la surface du Soleil, c'est-à-dire passant à 697 000 km. de son centre, la déviation attendue serait de 1",74 (1).

La lumière passant dans le voisinage du Soleil n'est perceptible que pendant les quelques minutes que dure une éclipse totale. Il faut donc photographier deux fois la région de la sphère étoilée dans laquelle se projettera le Soleil à l'instant de l'éclipse : une fois pendant l'éclipse et une fois à une époque suffisamment éloignée de celle-ci pour que l'éclat du Soleil n'empêche pas la visibilité des étoiles. Sur la photographie prise pendant l'éclipse, les étoiles doivent être écartées de leurs positions normales le long de droites divergeant du Soleil, et ceci, dit encore la théorie, en raison inverse de la distance angulaire au centre de celui-ci.

Lors de l'éclipse totale du 29 mai 1919, le Soleil se trouvait dans une région du ciel voisine d'Aldébaran et riche en belles étoiles. La bande de totalité traversait l'Amérique du Sud, l'Atlantique et l'Afrique, de la région d'Iquique aux parages de Zanzibar en remontant jusque près de la côte méridionale de la Guinée. Deux expéditions furent organisées: l'une pour Sobral, au Brésil, l'autre pour l'île Principe, dans le golfe de Guinée. Les déplacements moyens, ramenés au bord du Soleil, furent respectivement 1",98 et 1",70 (2).

(1) Il est vrai que si, d'après l'hypothèse de Newton, la lumière consistait dans une émission de particules matérielles, un rayon lumineux décrirait aussi, dans un champ de gravitation, un arc d'hyperbole. Mais on calcule que l'angle des asymptotes et par conséquent la déviation d'une image stellaire, seraient la moitié de ce qu'ils devraient être d'après la théorie d'Einstein.

(2) Les adversaires de la Relativité ont tenté d'expliquer cette déviation par une réfraction dans la couronne solaire. R. Emden, entre autres, a montré l'inanité de cette explication dans une communication à l'Académie de Bavière (classe math. et phys.), t. 2 (1920), p. 387. W. Anderson (Dorpat) est revenu à la charge en considérant le milieu réfringent comme constitué du produit de la volatilisation des particules de la couronne : *Ueber den Beweis von R. Emden,...* A. N., t. 215 (1921-1922), n° 5143. Réponse d'Emden, même vol., n° 5156. — Quant à l'hypothèse d'une réfraction dans une atmosphère lunaire, voir Ferrier, *Sur les déviations des rayons*

L'éclipse du 20 septembre 1922, bien que se présentant dans des circonstances beaucoup moins favorables, a fait l'objet des mêmes observations. A travers l'Océan Indien et l'Australie, sa bande de totalité allait de la côte africaine des Somalis au nord de la Nouvelle-Zélande, en passant par les îles Maldives et l'île Christmas, celle-ci au sud du détroit de la Sonde.

A l'instant de l'éclipse, voisin de l'équinoxe d'automne, le Soleil se trouvait dans la constellation de la Vierge, un peu au nord de l'équateur, entre les étoiles β et η, et plus près de β. Cette dernière étoile, qui est de la troisième grandeur, devait être la seule brillante qui puisse impressionner les clichés ; les autres étaient toutes inférieures à la sixième grandeur (1). La plus proche du Soleil se trouvait à un demi-degré du centre et devait, suivant la théorie d'Einstein, présenter une déviation de 0″,88.

Plusieurs expéditions furent organisées. — Les Anglais, sous la direction de H. S. Iones (Greenwich), arrivèrent à l'île Christmas le 14 mars. Une expédition germano-néerlandaise y était installée depuis un mois. Toute la saison fut mauvaise, et le ciel, le jour de l'éclipse, complètement couvert (2).

Une expédition canadienne (Université de Toronto), avait gagné Wallal, sur la côte nord-est de l'Australie, là où le grand désert du centre s'étend jusqu'au rivage ; les résultats de ses observations viennent d'être publiés très som-

lumineux passant au voisinage d'un astre, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1404. — Riemann a proposé jadis une loi électrodynamique destinée à remplacer la loi newtonienne de l'attraction de manière à expliquer l'excès de la vitesse de déplacement du périhélie de Mercure. G. Bertrand vient de reprendre cette loi en la modifiant légèrement ; les constantes au moyen desquelles elle s'exprime peuvent être choisies de façon que la rotation du périhélie s'accorde avec l'observation ; la déviation du rayon lumineux rasant le Soleil est alors de 2″,2 : *La loi de Riemann, le périhélie de Mercure et la déviation de la lumière*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 1687.

(1) P. Emmanuelli (Vatican), *La deviazione dei raggi stellari nel campo gravitazionale del Sole durante l'eclisse totale del 20 Settembre* 1922, A. N., t. 216 (1922), n° 5169.

(2) H. S. Jones (Greenwich), *Christmas Island Eclipse Expedition*, Obs., t. 45 (1922), pp. 142 et 317.

mairement (1) : les déplacements sont nettement marqués, à quelques exceptions près, mais il faut attendre la réduction au bord du Soleil (2).

C'est au même point de la côte australienne que campait l'expédition américaine organisée par l'Observatoire Lick de l'Université de Californie, sous la direction de W. Campbell, Moore et Trumpler (3). Le 13 avril 1923, le Bureau international des télégrammes astronomiques recevait et transmettait la dépêche suivante :

« ... Les plaques de comparaison ont été obtenues par Trumpler à Tahiti quelques mois auparavant en utilisant les instruments qui ont été employés pour l'observation de l'éclipse. Les deux stations se trouvent au niveau de la mer et les températures nocturnes sont à peu près les mêmes. Des réductions effectuées par Campbell et Trumpler sur trois couples de plaques contenant de 62 à 84 étoiles, chaque mesure étant faite 5 ou 6 fois, il résulte que la déviation des rayons lumineux est comprise entre 1",59 et 1",88, moyenne 1",74 conforme à la déviation calculée par Einstein » (4).

* * *

L'an prochain cette chronique devra reprendre les travaux publiés en 1922 sur un certain nombre de questions qu'il

(1) C. A. Chant (Toronto), *Einstein Displacement by the Canadian Party at the Australian Eclipse*, SCIENCE, nouv. série, t. 57 (1923, 20 avril), p. 469.

(2) On a parlé aussi d'une expédition de J. Evershed aux îles Maldives, pour l'Observatoire de Kodaikanal (Inde), ainsi que d'expéditions des Observatoires d'Adelaïde et de Sidney, l'une à l'extrémité Nord de l'Australie du Sud, à Cordillo-Downs, l'autre à Goondiwindi, au Sud du Queensland.

(3) C. Davidson (Greenwich), *Observation of the Einstein Displacement in Eclipses in the Sun*, OBS., t. 45 (1922), p. 224. — W. Campbell (Lick), *The Total Solar Eclipse of September* 21 1922, A. S. PAC., t. 34 (1922), p. 121 ; *Success of the Crocker Eclipse Expedition from the Lick Observatory*, même vol., p. 289.

(4) Voir aussi F. Dyson (Greenwich) et H. Turner (Oxford), *The Confirmation of the Einstein Prediction*, SCIENCE, nouv. série, t. 57 (1923, 18 mai), p. 571, article reproduit du TIMES.

n'a pas été possible d'aborder cette année et auxquelles des recherches récentes donnent un grand intérêt ; il s'agit principalement des étoiles doubles, des observations de la surface des planètes, de la variation des latitudes, de la gravitation, et des applications de la Mécanique céleste aux anneaux et aux satellites de Saturne.

M. Alliaume.

BIBLIOGRAPHIE

I. — MÉTHODES DE CALCUL DIFFÉRENTIEL ABSOLU ET LEURS APPLICATIONS, par RICCI et LEVI-CIVITA. — Réimpression.—Un vol. de 75 pages (25 × 17) de la Collection des monographies scientifiques étrangères. — Paris, Blanchard, 1923. — 9 fr.

Ce mémoire est le fondement des développements mathématiques donnes à la théorie physique de la relativité. Il parut pour la première fois en français dans les MATHEMATISCHE ANNALEN, tome 54 (1900).

Voici l'en-tête des chapitres : I. Algorithme du calcul différentiel absolu. — II. La géométrie intrinsèque comme instrument de calcul. — III. Applications analytiques. — IV. Applications géométriques. — V. Applications mécaniques. — VI. Applications physiques.

L'édition présente est une reproduction par des procédés photographiques. Elle est bien réussie. On a eu recours à ce moyen pour diminuer les frais d'une composition très onéreuse. Les mathématiciens et les physiciens accueilleront volontiers cette publication d'un document important devenu très rare.

I. P.

II. — GÉODÉSIE ÉLÉMENTAIRE, par le Général R. BOURGEOIS, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, professeur à l'École polytechnique, et le Lieutenant-Colonel H. NOIREL, répétiteur à l'École polytechnique. Deuxième édition, revue et augmentée.— Un volume in-12, de 452 pages, *Encyclopédie scientifique, Bibliothèque de Mathématiques appliquées*. — Paris, G. Doin, 1922. — 17 fr.

La première édition de cet ouvrage a paru en 1908, sous la signature du Lieutenant-Colonel Bourgeois ; elle n'a pas

été analysée ici. C'est le premier d'une série de trois volumes dont les deux autres seront intitulés *Géodésie sphéroïdique* et *Géodésie supérieure* (1). Voici les titres de ses neuf Chapitres : Théorie des erreurs d'observation ; Trigonométrie sphérique ; Théorie des instruments de mesures angulaires ; Méthodes d'observation ; Opérations sur le terrain ; Mesures des bases ; Calcul des triangles ; Calcul des coordonnées ; Détermination des altitudes.

De la première à la deuxième édition, la Théorie des erreurs et la Trigonométrie sphérique ont reçu un plus grand développement ; le chapitre IX (et non VIII, comme le dit la Préface) a perdu la théorie du nivellement géométrique qui trouvera sa place dans le deuxième volume.

Il existe peu de traités de Géodésie en langue française : celui de Puissant (1842) a bien vieilli, et ce qu'on avait de mieux jusqu'il y a peu d'années était encore le tome III de l'excellent *Cours de Topographie* de Lehagre (1880). A en juger par ce premier volume, l'ouvrage de MM. Bourgeois et Noirel nous pourvoira de tout ce qui, sous ce rapport, nous manque aujourd'hui. Ce premier volume est très bon, d'une très grande netteté, et ne peut qu'être vivement recommandé. Les Chapitres qui m'ont paru les meilleurs sont ceux qui traitent des *méthodes d'observation*, des *opérations sur le terrain* et de *la mesure des bases*. Cet éloge m'oblige à dire ce que j'ai trouvé d'un peu moins bon dans les autres Chapitres.

Il est conforme à la coutume que tout ouvrage général d'Astronomie ou de Géodésie débute par un Chapitre sur la *Trigonométrie sphérique*. On n'en aperçoit pas la raison. Pourquoi, aussi bien, ne pas reprendre l'Algèbre et les éléments de l'Analyse infinitésimale ? L'auteur va devoir, de même, en faire usage. Bien plus, pour la Trigonométrie sphérique, il pourrait parfaitement — et si avantageusement ! — s'en passer tout à fait. Ne dispose-t-il pas de la Géométrie

(1) D'après la Table des volumes de la Collection à laquelle appartient celui-ci ; dans la Préface, le titre de *Géodésie supérieure* est attribué au deuxième volume. Jusqu'ici le Général Bourgeois était annoncé comme l'auteur des deux derniers volumes ; son nom vient d'être remplacé par celui du Colonel Noirel.

analytique grâce à laquelle il pourra étudier directement les figures sphériques quelconques sans devoir les ramener à des figures formées par des arcs de grand cercle ? Mais ce dont aura besoin l'auteur d'un traité de Géodésie, sans pouvoir toujours en appeler, auprès de ses lecteurs, à des connaissances suffisantes, c'est de la théorie des surfaces. Un Chapitre de Géométrie infinitésimale remplacerait avantageusement le chapitre traditionnel de Trigonométrie sphérique.

Le Chapitre sur la *Théorie des Erreurs d'observation* semble nécessaire ; mais M. Noirel l'a développé : il aurait pu le réduire. Si la Théorie des erreurs ne peut pas faire l'objet d'un enseignement distinct, bien explicite, il est illusoire de vouloir la condenser en une quarantaine de pages. On devra se contenter d'à peu près, d'appels à l'intuition qui laisseront le lecteur dans l'inquiétude. Mieux vaudrait alors, me semble-t-il, rappeler en quelques pages les conclusions pratiques de la théorie, et les présenter comme des procédés de calcul dont la légitimité, eu égard à telle et telle hypothèse, est établie dans une autre partie de l'enseignement. MM. Bourgeois et Noirel ont dû se résigner aux à peu près : on les trouvera dans les définitions des fautes (p. 9), des erreurs systématiques, des erreurs fortuites (p. 10), de l'objet même de la Théorie des erreurs, où les solutions cherchées seraient celles qui *nous paraissent* satisfaire *le mieux possible* à l'ensemble de leurs conditions (p. 16).

Dans la *Théorie des instruments*, la définition du niveau réglé (p. 68) manque de clarté ; celle du foyer principal d'une lentille est inexacte (p. 75), et le centre optique est cité sans définition : c'est toujours cette malheureuse théorie des lentilles minces, complètement en dehors des réalités.

Tout ce qui se rapporte aux *Opérations sur le terrain* est extrêmement soigné : les *méthodes d'observation*, soit par tours d'horizon, soit par mesure directe des angles, sont traitées avec le plus grand détail. Il en est de même de la triangulation, des opérations de reconnaissance, du choix et de l'établissement des stations géodésiques, et, surtout, de la *mesure des bases*, avec une excellente description des appareils, de la règle de Borda, du fil d'invar, et de nombreux exemples de rattachement progressif au réseau géodésique

(à propos desquels on pourrait trouver désirable que toutes les figures fussent à la même échelle).

Les Chapitres suivants nous ramènent aux développements analytiques. C'est l'application continuelle de la notion de géoïde ; aussi quelque malaise résulte-t-il de ce qu'une bonne définition explicite de cette surface n'a pas été donnée : p. 4, dans l'Introduction, c'est « une surface de référence définie par la surface moyenne des mers prolongée sous les continents » ; de même, p. 352, « surface moyenne des mers, prolongée, par la pensée, sous les continents ». Ce qui en est dit de meilleur se trouve p. 303 : les mers sont encore « prolongées indéfiniment sous les continents », mais « leur surface est partout normale à la direction de la pesanteur ». Je ne désire pas qu'on partage ce sentiment, et je m'en excuse auprès des auteurs, mais j'ai horreur de ce *prolongement sous les continents*, et la surface moyenne des mers n'est déjà pas une notion tellement claire !

Le *Calcul des coordonnées* consiste presque entièrement dans la recherche de ce qu'on appelle les *Formules des Ingénieurs-géographes*. On commence prudemment par le cas simple d'un géoïde sphérique, et c'est déjà effrayant. Il s'agit d'abord de la détermination de la latitude L' d'un point situé dans tel azimut à telle distance angulaire K d'un point dont la latitude L est connue ; et voilà quatre pages sur lesquelles je ne voudrais pas être interrogé : artifices de calcul, associations membre à membre, introduction de symboles nouveaux, résolution et discussion d'une équation en tg x, développement de x suivant les puissances de tg x, substitutions, nouveaux développements.., alors qu'il suffit du rappel d'une méthode générale et de trois lignes de calcul : le développement du second membre de

$$L' = \text{arc sin}\,(\sin L \cos K - \cos L \sin K \cos Z)$$

suivant les puissances croissantes de la quantité petite K jusqu'aux termes du troisième degré (1).

$$(1) \qquad L'_0 = L \quad \left(\frac{dL'}{dK}\right)_0 = -\cos Z, \quad \left(\frac{d^2L'}{dK^2}\right)_0 = -\sin^2 Z \operatorname{tg} L,$$
$$\left(\frac{d^3L'}{dK^3}\right)_0 = \sin^2 Z \cos Z\,(1 + 3 \operatorname{tg}^2 L),$$

d'où

$$L' = L - K \cos Z - \frac{1}{2} K^2 \sin^2 Z \operatorname{tg} L + \frac{1}{6} \sin^2 Z \cos Z\,(1 + 3 \operatorname{tg}^2 L).$$

Dans la *Détermination des altitudes*, il s'agit du nivellement géodésique, par lignes de visées non horizontales. La grosse question est celle de la réfraction atmosphérique : les hypothèses simplificatrices sont bien mises en relief, et on ne cherche pas à ce qu'elles inspirent une confiance qui serait imméritée ; bonne documentation sur les recherches expérimentales. Les dernières pages exposent le nivellement barométrique : cette étude est très bien faite.

L'ouvrage se termine par quelques tables numériques et une table alphabétique des matières et des auteurs cités.

M. ALLIAUME.

III. — COURS DE MÉCANIQUE CÉLESTE, par H. ANDOYER, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. Tome I. — Un vol. gr. in-8° de 438 pages. — Paris, Gauthier-Villars ; 1923.

On peut, sans manquer à la mémoire de Poincaré, que nul ne vénère plus que nous, constater que le magnifique Traité de mécanique céleste signé par ce mathématicien de génie, et qui restera comme un des plus beaux monuments de la science de notre temps, a bien plutôt le caractère d'une grandiose théorie que d'un exposé des « solutions *pratiques* que donne l'astronomie aux problèmes *réels* de la mécanique céleste ». C'est, au contraire, un tel exposé que M. Andoyer développe, depuis une dizaine d'années, avec un rare bonheur, dans son cours à la Sorbonne ; il en commence aujourd'hui la publication sous la forme d'un ouvrage dont le Tome I vient de paraître.

M. Andoyer, qui possède l'exceptionnel privilège d'être tout à la fois un excellent mathématicien et un calculateur d'une rare habileté, était mieux que tout autre désigné pour mener à bien une œuvre de ce genre. L'aisance avec laquelle il se meut au milieu des transformations analytiques les plus délicates procède de ce double don ; le mathématicien sait exposer les principes sur lesquels repose la théorie avec une parfaite netteté et en déduire toutes les conséquences avec une remarquable élégance, mais le calculateur ne laisse jamais les solutions s'arrêter en route avant d'avoir atteint aux formules finales se prêtant à la mise en nombres.

C'est dire d'un mot les éminents services que peut rendre un tel ouvrage à la fois comme initiateur à cette science si captivante de la mécanique céleste et comme guide des applications auxquelles elle se prête en astronomie pratique. Au reste, le souci qu'a l'auteur de rendre ce guide aussi complet que possible l'incite à élargir son cadre pour y faire entrer les problèmes qui se posent à l'occasion de la théorie de la détermination des orbites des petites planètes et des comètes.

Ce premier volume se divise en trois livres ayant respectivement pour titre : *Les problèmes généraux de la mécanique céleste. — Étude pratique du mouvement képlérien et de ses perturbations. — Théorie des planètes.*

Dès l'abord, on est frappé de la netteté avec laquelle l'auteur pose les définitions, précise l'énoncé des problèmes, met en lumière la marche des solutions. Dans tout le premier livre, il reste sur le terrain des généralités, s'attachant à rechercher, en vue des développements ultérieurs, l'influence des termes des diverses séries qui interviennent dans le cas des mouvements soit des planètes autour du Soleil, soit des satellites autour d'une planète. Dès lors, laissant de côté les actions qui peuvent être regardées comme négligeables, au moins pour une première approximation, il fait voir comment les problèmes généraux peuvent se ramener à un certain nombre de problèmes simples de mécanique rationnelle, se résolvant, au reste, par étapes successives, et non par un procédé uniforme mais bien par ceux que l'on discerne, pour chaque question particulière, comme convenant le mieux.

Après avoir rappelé les notions relatives à la forme canonique des équations de la dynamique, dont l'utilité réside dans la facilité qui en résulte pour effectuer certains changements de variables et la simplicité qu'elle confère à la démonstration de plusieurs théorèmes importants, l'auteur montre comment se transforme la question lorsqu'on met en évidence la partie principale de la fonction de forces, successivement, pour les deux problèmes fondamentaux, auxquels a été précédemment réduite la solution générale, du mouvement d'un point matériel soumis à l'attraction newtonienne et du mouvement d'un solide autour d'un point fixe.

Le deuxième livre débute par ce qui peut être regardé comme le complément obligé de la mécanique céleste, savoir le passage des éléments déduits de la solution mécanique à ceux sur lesquels portent les observations.

La détermination des positions héliocentriques et géocentriques, est effectuée avec un soin et une précision auxquels n'échappe aucun détail, y compris ce qui regarde l'exécution des calculs, cet exposé étant d'ailleurs admirablement éclairé par un exemple numérique intégralement traité, qui peut servir de modèle dans tous les cas analogues de la pratique.

C'est ici qu'intervient tout naturellement le problème auquel nous avons fait ci-dessus allusion, inverse du précédent, qui consiste à déduire les éléments d'une orbite des observations réellement faites à la surface de la Terre.

Pour le cas où l'on dispose de trois observations suffisamment rapprochées, l'auteur développe une solution inspirée des récents travaux de Charlier et de Moulton, qui ont mis en pleine lumière l'excellence de la méthode proposée par Lagrange dès 1778, tout en tirant parti des avantages que peuvent offrir les méthodes classiques, comme celles de Gauss et de Laplace.

S'il s'agit de trois observations quelconques, la question qui se pose est de déterminer les corrections à appliquer aux éléments de l'orbite provisoire fournie par une solution approchée.

Ces divers problèmes sont d'ailleurs également éclairés par des exemples numériques complètement traités.

Lorsqu'on a affaire à de nombreuses observations fournissant plus d'équations qu'il n'est nécessaire pour déterminer strictement les inconnues, équations non exactement compatibles par suite des erreurs d'observation, on doit nécessairement recourir à la méthode des moindres carrés, dont à cette occasion l'auteur donne un excellent exposé.

Les éléments du mouvement képlérien se trouvant déterminés comme il vient d'être dit, il s'agit de procéder au calcul des perturbations tenant aux actions secondaires, laissées de côté dans une première approximation. A titre d'introduction à ce calcul, M. Andoyer développe, avec un soin extrême, la théorie de l'interpolation qui n'est pas

toujours poussée, dans les traités d'algèbre, jusqu'au point que requiert pareille application.

Dans le cas des petites planètes ou des comètes, le problème se présente avec une complication qui ne permet l'emploi que d'une méthode empirique se prêtant, de proche en proche, au calcul purement numérique des perturbations.

Ayant indiqué les diverses façons, réduites au nombre de cinq, dont on peut aborder le problème, l'auteur se livre à une étude approfondie des solutions correspondantes, de celles, notamment, de la variation des éléments, de Hansen-Tietjen, d'Encke, en précisant les circonstances favorables à l'adoption de l'une ou l'autre d'entre elles.

Le troisième livre, réservé à la théorie des planètes, contient d'abord la solution de certains problèmes relatifs au mouvement képlérien elliptique à l'aide de développements en séries, d'où découle l'étude du développement analytique de la fonction perturbatrice relative à l'action mutuelle de deux planètes.

Un cours comme celui-ci suppose, de la part de son auteur, une vaste érudition acquise au moyen de lectures immenses ; il a cependant un tout autre caractère que celui d'une simple compilation, ne résultant que de la seule juxtaposition, même ingénieusement ordonnée, des travaux de nombreux chercheurs ; toute la matière, au contraire, en a été, en quelque sorte, refondue dans le cerveau de l'auteur qui, ainsi qu'il le dit dans sa préface, ne s'est pas « cru obligé de présenter les solutions des problèmes sous la forme même qui leur a été donnée par leurs premiers auteurs », et qui, de plus, a constamment dirigé ses efforts « vers une exposition systématique, malgré la diversité des circonstances ». M. Andoyer s'est tiré de cette tâche délicate avec toute la supériorité que lui confèrent les dons auxquels il a été fait plus haut allusion. L'œuvre didactique qu'il nous a ainsi donnée, digne de toute estime, nous semble appelée à prendre rang parmi nos meilleurs classiques.

M. O.

IV. — Dynamique des solides, gyroscopes, par. J. Reveille, répétiteur à l'École polytechnique. — Grandes encyclopédies industrielles J. B. Baillère, publiées sous le

patronage de la Société des ingénieurs civils de France et de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. — Encyclopédie de mécanique appliquée, publiée sous la direction de M. L. LECORNU, membre de l'Institut. — Un vol. in-8° de 506 pages avec 135 figures. — Paris, Baillère, 1923.

Dans ce volume on trouve exposés, sous une forme concise, rigoureuse et claire, les principes fondamentaux de la dynamique des solides. L'ouvrage s'adresse aux ingénieurs : son cadre dépasse donc celui de la mécanique rationnelle proprement dite pour empiéter sur celui de la mécanique appliquée. Une part importante est faite à la théorie des chocs et des percussions et aux problèmes dans lesquels il faut faire intervenir le frottement. L'ouvrage ne vise pas particulièrement à l'originalité, mais il expose les méthodes les plus récentes et les résultats obtenus en tout dernier lieu dans diverses questions. Certaines théories, comme celle du mouvement des projectiles, à laquelle M. Esclangon a apporté des perfectionnements importants, sont même imprimées ici pour la première fois.

Pour donner une idée de l'importance de l'ouvrage, nous ne pouvons mieux faire que de donner une courte énumération des matières traitées. On ne doit y voir qu'une table des matières très incomplète.

Introduction. Rappel des principes fondamentaux de la mécanique. Théorèmes généraux. Percussions. Équations de Lagrange.

Chapitre premier. Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe. Applications diverses en tenant compte du frottement : pendule de Kater et de Borda ; pendule balistique ; treuil, machine d'Atwood, poulie, cabestan, etc.

Chapitre II. *Mouvement d'un solide parallèlement à un plan fixe.* Frottements de glissement et de roulement. Tirage d'un véhicule. Transport sur rouleau. Mouvements divers d'un cylindre horizontal pesant (pouvant se réduire à un disque) qui s'appuie par une génératrice sur un plan fixe discussoin des cas où il y a glissement ou roulement.

Chapitre III. *Mouvement d'un solide autour d'un point fixe.* Équations d'Euler. Mouvement à la Poinsot : discussion

approfondie de la polhodie et de l'herpolhodie. Effet des percussions. Mouvement d'un solide pesant (cas de Lagrange et de Poisson). Intégration approchée des équations dans le cas d'une rotation initiale très grande autour de l'axe de révolution du corps. Pendule sphérique composé. Effet gyroscopique et tendance des axes de rotation au parallélisme. Gyroscope de Foucault.

Chapitre IV. *Mouvement d'un solide libre.* La partie la plus neuve et la plus intéressante de ce chapitre est consacrée au mouvement des projectiles d'artillerie. Cette théorie est empruntée à un mémoire autographié de M. Esclangon, rédigé à Gavre pendant la guerre, dans lequel le savant professeur de Strasbourg introduit les notions d'*axe d'équilibre dynamique* et de *coefficient d'amortissement* qui nous paraissent d'un intérêt capital. L'auteur s'occupe encore, dans ce chapitre, de la précession des équinoxes et fait ensuite une étude approfondie de l'effet des percussions sur un solide libre et du choc des corps solides, sans omettre le cas où il faut faire intervenir le frottement.

Chapitre V. *Mouvement d'un solide pesant s'appuyant sur un plan horizontal fixe.* Mouvement de la toupie sur un plan parfaitement lisse. Mouvement du cerceau, traité d'abord par l'application des théorèmes généraux, ensuite par la méthode de M. Appell qui permet d'étendre les équations de Lagrange à certains systèmes non holonomes. Théorie de la bicyclette d'après les recherches de Carvello et surtout d'après le Mémoire de M. Bourlet.

Chapitre VI. *Applications des propriétés gyroscopiques.* L'auteur expose, en une centaine de pages, les applications récentes les plus remarquables des gyroscopes : *Le monorail Brennan*, qui a été réalisé avec succès en Angleterre, la stabilité du wagon étant assurée par des tores dont la rotation est entretenue par des dynamos ; *le gyroscope collimateur de Fleuriais*, utilisé dans la marine, qui permet de déterminer la verticale et de réaliser l'horizon quand celui-ci échappe à l'observation directe ; *le gyroscope Obry*, qui dirige les torpilles automobiles Witchead ; *les gyroscopes Auschutz et Sperry*, qui commencent à remplacer à bord des navires les compas magnétiques. Ces compas gyroscopiques, qui s'inspirent des mêmes principes que le gyroscope de Foucault,

remplacent le compas magnétique lorsque les indications de celui-ci sont faussées, comme cela se produit à bord des cuirassés et encore plus fatalement à bord des sous-marins.

Nous pouvons recommander sans crainte cet ouvrage à ceux qui désirent acquérir rapidement des connaissances précises sur l'état actuel de la mécanique du corps solide Sa lecture n'exige que les connaissances mathématiques acquises par tout ingénieur.

C. DE LA VALLÉE POUSSIN.

V.— INTRODUCTION A LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ. CALCUL DIFFÉRENTIEL ABSOLU ET GÉOMÉTRIE, par H. GALBRUN, docteur ès sciences, actuaire de la Banque de Paris et des Pays-Bas. — Un vol. grand in-8° de 457 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1923.

C'est devenu un peu un lieu commun de constater que certaines théories de mathématiques pures, conçues par leurs auteurs *in abstracto* et sans nul souci de leur adaptation ultérieure à l'étude de certains faits physiques, se trouvent devenir, *a posteriori*, l'outil par excellence d'une telle étude Pareille réflexion se présente à l'esprit lorsqu'on envisage le calcul différentiel absolu, d'abord institué par M. Ricci en vue de certaines recherches géométriques, puis adapté par M. Levi-Civita à l'étude des espaces non euclidiens conçus comme des variétés baignées dans un espace euclidien d'un nombre supérieur de dimensions, et qui est devenu, entre les mains d'Einstein, la clef de l'explication géométrique de la gravitation universelle. Or, il n'est pas facile de se rendre maître des principes de cette nouvelle discipline par la lecture des mémoires originaux où elle a puisé sa source, mémoires dont la portée dépasse en réalité l'objet particulier que l'on a ici en vue, et qui, au surplus, n'ont pas été rédigés par leurs auteurs sous le coup de préoccupations didactiques. C'est donc un signalé service que M. Galbrun a rendu à ceux qui étudient spécialement les mathématiques en vue de leurs applications à la physique en rédigeant à leur intention un exposé, soigneusement mis au point, du calcul différentiel absolu désigné aussi parfois sous le nom de calcul tensoriel, y compris son adaptation à l'étude des

espaces, euclidiens ou non, à un nombre quelconque de dimensions.

Les méthodes de ce calcul, qui permettent de donner aux équations de la géométrie et de la physique une forme indépendante du choix du système de coordonnées, reposent sur la considération des systèmes primitivement envisagés par MM. Ricci et Levi-Civita, et désignés, d'après M. Grossmann, sous le nom de tenseurs covariants et contrevariants. Les propriétés fondamentales de ces tenseurs, ainsi que les opérations auxquelles ils donnent lieu, font l'objet du Chapitre I.

En utilisant certaines formules établies par Christoffel, MM. Ricci et Levi-Civita, pour parer aux difficultés provenant de ce que la propriété de covariance ou de contrevariance d'un système de fonctions disparaît dans la dérivation, ont établi la notion des dérivées tensorielles, résultant de la considération d'expressions linéaires par rapport aux dérivées partielles des composantes d'un tenseur et jouissant de la propriété d'être elles-mêmes covariantes ou contrevariantes. La théorie de ces dérivées tensorielles occupe le Chapitre II.

Le Chapitre III est consacré à l'étude des tenseurs du premier et du second ordre et clôt ce qu'on peut regarder comme le pur exposé des principes.

Avec le Chapitre IV s'ouvrent les applications à la géométrie et à la mécanique qui, à la vérité, doivent être tenues comme partie intégrante du corps de doctrine, dont le sens véritable ne peut être saisi indépendamment de ses rapports avec l'étude des faits de cet ordre.

Le Chapitre V contient l'exposé des principes de la géométrie euclidienne à n dimensions, envisagés du point de vue de Riemann, c'est-à-dire lorsque l'on prend comme base la forme quadratique fondamentale exprimant le ds^2 dans un tel espace.

De là, au Chapitre VI, l'auteur passe aux espaces non euclidiens,auxquels on est conduit en envisageant une forme quadratique fondamentale dont les coefficients ne sont plus constants, et qui apparaissent, d'après les idées de M. Levi-Civita, comme des sections d'espaces euclidiens à un plus grand nombre de dimensions. C'est ici que s'introduit la

notion des lignes géodésiques possédant, en un tel espace, une des propriétés invariantes de la droite dans l'espace euclidien.

Cette vue profonde de M. Levi-Civita, qui consiste à regarder tout espace non euclidien comme une variété baignant dans un espace euclidien, conduit, moyennant la théorie du déplacement parallèle, à l'extension à l'espace le plus général des notions acquises dans la géométrie ordinaire des surfaces, notamment de celle de courbure qui joue un rôle essentiel dans les théories einsteiniennes. Ces développements, du plus haut intérêt, donnent naissance au Chapitre VII.

Cette extension de la géométrie des surfaces, dans le cadre de laquelle M. Einstein a développé toute sa théorie de la relativité pour aboutir à sa remarquable explication des phénomènes de la gravitation, a été reprise suivant une autre voie par M. Weyl qui, au prix, d'ailleurs, d'une complication plus grande dans les principes, est parvenu à englober, dans une synthèse unique, à la fois, les phénomènes de la gravitation et ceux de l'électromagnétisme. Cette géométrie de M. Weyl fait l'objet du Chapitre VIII.

Le Chapitre IX, qui traite des espaces de Galilée dans la mécanique rationnelle et dans les théories électromagnétiques, est directement inspiré des idées émises par M. Painlevé sur les axiomes de la mécanique. Cette étude fait ressortir de la façon la plus nette les difficultés que comporte la confrontation des conséquences de l'application des équations de Maxwell avec les faits que révèle l'expérience de Michelson et connaître les tentatives de Hertz et de M. Lorentz en vue d'aboutir à leur pleine conciliation.

C'est, pour la première fois, la réforme beaucoup plus profonde introduite par M. Einstein, à la base même de ces théories physiques, qui a abouti à une explication pleinement cohérente de l'ensemble de ces phénomènes ramenés à une synthèse unique. Cette réforme repose, comme on sait, sur cette idée puissamment originale que la transformation de coordonnées qui fait passer d'un espace de Galilée à un autre doit porter non seulement sur les trois coordonnées d'espace, mais aussi sur le temps. De là, l'origine de la théorie de la relativité restreinte dont, au Chapitre X, l'au-

teur expose les principes sous une forme bien faite pour plaire aux mathématiciens, et qui ne peut manquer de leur paraître parfaitement claire.

S'étant borné jusque là au cas particulier d'un diélectrique, en se plaçant au point de vue des phénomènes lumineux, l'auteur, pour traiter le cas général, a recours au mémoire fondamental dans lequel Minkowski a eu recours au principe de relativité en vue de déduire des équations de Maxwell celles de l'électrodynamique des corps en mouvement. Telle est la matière du Chapitre XI, d'une non moindre valeur que le précédent pour les mathématiciens.

Dans une sorte de chapitre additionnel, M. Galbrun développe sur la cinématique de la relativité quelques remarques suggestives propres à jeter plus de lumière sur ce sujet délicat aux yeux de ceux qui sont aptes à l'envisager du point de vue mathématique.

D'un bout à l'autre, cet ouvrage témoigne chez son auteur d'une remarquable habileté à manier l'instrument analytique. Qu'il nous soit permis aussi, bien que cette considération soit évidemment d'ordre un peu accessoire, de louer la perfection d'une exécution typographique particulièrement difficile en raison de la complication des notations, et qui vient, une fois de plus, consacrer à cet égard la réputation de la maison Gauthier-Villars.

PH. DU P.

EXPOSÉ GÉNÉRAL DU PRINCIPE DE RELATIVITÉ ET DES THÉORIES D'EINSTEIN, par E. BARRÉ, chef de bataillon du génie, Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique (Ouvrage faisant partie de la *Bibliothèque de synthèse scientifique*.) — Un vol. in-8° de 126 pages. Paris, Chiron, 1923.

En dehors des mathématiciens professionnels pour qui ont été rédigés des exposés des théories einsteiniennes spécialement adaptés à leurs habitudes d'esprit comme celui de M. Galbrun, il se trouve encore d'autres catégories de lecteurs susceptibles de s'intéresser à ces nouveautés. Pour les esprits simplement curieux, mais étrangers aux sciences mathématiques, divers essais de vulgarisation ont même été tentés en vue de donner une idée de ces notions

nouvelles dans un langage tout à fait courant, au moyen d'images s'y adaptant plus ou moins exactement. Nous ne jurerions pas que ces essais aient pleinement atteint le but qu'ils se proposaient et soient parvenus à faire naître chez leurs lecteurs autre chose que l'illusion de comprendre. Mais il est encore un autre genre de public pour qui l'obligation ne s'impose pas d'écarter du mode d'exposition les formes de raisonnement et les symboles mathématiques ; ce public se compose de tous ceux, assez nombreux en somme, qui, au début d'une carrière technique requérant l'usage des mathématiques, ont reçu, dans l'ordre de ces sciences, une assez forte initiation pour se retrouver capables, fût-ce au prix d'un léger effort, de suivre un exposé faisant couramment appel à leur emploi. C'est à un tel public que s'adresse le petit livre, très heureusement conçu et facile à lire, du Commandant Barré.

L'auteur commence, dans le Chapitre I, à bien préciser la nature de la question au moyen d'un rapide historique faisant ressortir l'incompatibilité du principe de relativité de la mécanique classique avec le résultat de l'expérience de Michelson, et expose, dès le Chapitre II, le principe de relativité restreinte d'Einstein destiné à faire rentrer les actions électromagnétiques dans le champ de la mécanique générale, ce qui requiert la substitution, pour les équations de transformation, du groupe de Lorentz à celui de Galilée. Toutefois, alors que Lorentz « ne voulait voir dans l'introduction du temps local qu'un artifice mathématique dépourvu de réalité physique », Einstein (et c'est en cela que sa réforme s'est montrée si radicale) a émis « l'idée nouvelle que le temps local correspondait à une donnée physique : autrement dit, le temps, au moins tel que nous le mesurons, ne saurait avoir une valeur universelle. Sous une autre forme, le temps est enchevêtré avec les dimensions d'espace, exactement comme celles-ci entre elles ».

C'est cette notion, si choquante *a priori* pour nos habitudes d'esprit, qui arrête au seuil de cette étude la plupart de ceux qui l'abordent pour la première fois, et qu'il est si difficile d'admettre lorsqu'on la reçoit par toute autre voie que la voie mathématique. Le Commandant Barré la commente sous une forme à la fois précise et sobre qui ne peut manquer

de l'éclairer vivement aux yeux de quiconque a eu le cerveau façonné par la discipline mathématique, et il en déduit avec une extrême simplicité les conséquences physiques immédiates relativement à l'invariance de la vitesse de la lumière, à l'interprétation de l'expérience de Fizeau... Interprétant ensuite les équations fondamentales comme définissant les éléments d'un espace à quatre dimensions (où le temps joue le rôle de la quatrième dimension), il esquisse dans ses grandes lignes la dynamique nouvelle qui correspond à ces notions, mais non sans faire remarquer que « dans toutes les applications de la pratique, les lois de la mécanique newtonienne restent une approximation excellente et pratiquement absolue ».

Au Chapitre III, l'auteur pose les bases fondamentales de la relativité généralisée, mettant en pleine lumière ce qu'il faut entendre par la covariance des lois de la nature vis-à-vis de transformations arbitraires, pour dégager de là le principe d'équivalence entre un champ de gravitation et un champ de forces fictives, auquel, en dernière analyse, se ramène toute la théorie. L'aperçu sur la relativité généralisée que le Commandant Barré est parvenu ainsi à édifier ne nous semble le céder en clarté, sans parler de sa brièveté, à aucun autre, au regard, nous le répétons, de ceux qui disposent de la formation mathématique la plus moyenne.

L'indépendance acquise de l'expression des lois de la nature par rapport au système de référence fait sentir *a priori* l'intérêt que peuvent offrir des symboles se reliant directement à ces lois et indépendants, eux aussi, du système de référence. Un tel rôle appartient, comme on sait, aux tenseurs qui ont pris naissance dans les travaux de Riemann et de Christoffel et qui ont donné son essor, entre les mains de MM. Ricci et Levi-Civita, au calcul différentiel absolu. On ne peut manquer d'être frappé de la façon remarquablement simple dont, au Chapitre V, le Commandant Barré est parvenu à résumer en quelques pages les principes essentiels de cette discipline nouvelle. La lecture de ce compendium serait même à recommander, comme entrée en matière, à ceux qui seraient désireux de pousser plus à fond ce genre d'étude dans les traités beaucoup plus développés qui lui ont été consacrés, tels que celui qui est dû à M. Galbrun.

L'auteur se trouve alors en mesure d'exposer, au Chapitre V, sous une forme non moins précise que succincte, la loi de gravitation d'Einstein, et même de faire connaître, dans ses grandes lignes, la théorie plus étendue de M. Weyl, dont le but ne semblait guère jusqu'ici pouvoir être défini d'une manière aussi simple.

Le Chapitre VI est réservé à l'exposition condensée des systèmes cosmogoniques dérivés de la théorie de la relativité, savoir celui d'Einstein ou « univers cylindrique », comportant un temps absolu, ou « temps impérial », dont le rôle est analogue, dans l'univers quadridimensionnel, à celui de la coordonnée qui, sur un cylindre ordinaire, serait mesurée le long des génératrices, et celui de Sitter, « univers hyperbolique », pour lequel la coupe à temps constant, c'est-à-dire, à proprement parler, l'espace est sphérique. L'auteur fait remarquer très judicieusement que « de telles conceptions dépassent, et de beaucoup, le strict domaine de la physique, puisque dans l'état actuel de nos connaissances et pour longtemps encore, sinon pour toujours, elles échappent à tout contrôle mesurable ». Mais il estime avec raison qu'il n'y a pas lieu pour cela de les proscrire, surtout parce que « les ouvertures données à l'esprit par de telles vues peuvent l'amener à faire des investigations dans les directions qui, sans elles, lui fussent restées entièrement fermées ».

On a pu juger, par les quelques lignes qui précèdent, qu'au cours de son exposé si sobre, l'auteur ne s'est pas interdit les réflexions critiques qui ajoutent même sensiblement à l'intérêt de la lecture. Il a tenu néanmoins à réunir encore en un Chapitre VII, quelques vues d'ensemble et conclusions générales résumant, à son point de vue, la philosophie du sujet ; et ce morceau n'est pas le moins bien venu du volume.

La théorie d'Einstein a eu la rare fortune de passionner jusqu'au grand public qui pourtant n'en pouvait recueillir que de bien faibles lueurs. Contradicteurs et défenseurs ont apporté dans le débat la même passion. Le Commandant Barré ne se classe résolument ni parmi les uns, ni parmi les autres. Comme tous ceux à qui il a été donné de pénétrer en ce domaine par la voie mathématique, il ne peut que professer une vive admiration pour la belle construction logique sortie du cerveau, assurément génial, d'Einstein,

mais il fait quelques réserves quant à la nécessité de l'accepter dès maintenant à titre d'explication définitive du système du monde. Avec M. Émile Picard, il estime que « l'avenir dira dans quelle mesure les idées nouvelles, si elles reçoivent de nouvelles confirmations expérimentales, pourront s'incorporer dans ce bon sens moyen de l'humanité, où Descartes mettait le fondement de la certitude, et qui était pour lui le trait d'union entre notre pensée et le réel ».

Auprès du public des ingénieurs ou techniciens de tout ordre ayant reçu, au temps de leurs études, une initiation mathématique suffisante, sans même avoir, depuis lors, poussé plus avant dans cette voie, nous croyons l'excellent petit livre du Commandant Barré appelé au plus vif succès.

PH. DU P.

VI.— THE MATHEMATICAL THEORY OF RELATIVITY, par A.S. EDDINGTON, F. R. S. — Un vol. de x-248 pages (28×20). — Cambridge, University Press, 1923. — 20 sh. net.

La première esquisse de cet ouvrage fut composée pour être ajoutée comme « Partie théorique » à la traduction française du livre *Space, Time and Gravitation* (1). L'auteur s'est appliqué pendant une année et demie à développer son travail et à le transformer en un traité plus systématique et plus compréhensif. La rédaction, toute remaniée, en est devenue trois fois plus considérable.

On suppose que le lecteur a déjà pris contact avec un premier exposé des théories relativistes, notamment dans *Space, Time and Gravitation*. On veut ici lui faire connaître l'instrument mathématique adapté à ce genre de considérations : le calcul tensoriel, et le détail de ces conceptions nouvelles de théorie physique.

L'ouvrage répond excellemment à cet objet ; il ne manquera pas de donner satisfaction et profit à qui pourra l'étudier. Par ses qualités extraordinaires d'exposition, et aussi par l'importance des théories personnelles que l'auteur y développe, ce livre se place parmi les meilleurs

(1) Voir analyses dans cette REVUE, t. 79, p. 212, janvier 1921 ; t. 80, p. 513, octobre 1921.

concernant la matière. L'exécution typographique est d'une netteté impeccable.

L'ordonnance générale des chapitres est restée celle des sections dans la rédaction précédente (1). Les modifications portent surtout sur les sections III-IV. Un chapitre V (pp. 149-170) sur la courbure de l'espace et du temps est entièrement nouveau ; il étudie des particularités de l'univers cylindrique d'Einstein et de l'univers sphérique de de Sitter. Le dernier chapitre (VII, pp. 196-240) sur la géométrie de l'univers, est tout particulièrement renouvelé. On y voit la théorie de Weyl et la théorie généralisée de M. Eddington lui-même. Cette dernière consiste dans une déduction géométrique, à l'aide du calcul tensoriel, à partir d'une seule notion extrêmement simplifiée de la structure élémentaire, pour aboutir aux diverses relations mathématiques où l'on peut reconnaître l'expression de toutes les lois physiques de la Mécanique, de l'Électricité et du Magnétisme, sauf celles qui concernent l'électron et les quanta. Cette construction théorique est très remarquable d'unité ; elle séduit puissamment. Pour ébranler la conviction de ceux qui s'attachent à cette méthode, il ne suffira plus, semble-t-il, désormais de contester les vérifications expérimentales de points où elle est en désaccord avec la méthode classique ; il faudrait découvrir une contradiction interne au système ou prouver qu'il est formellement démenti par l'expérience.

H. Dopp.

Les divers aspects de la théorie de la relativité, par J. Villey, maître de conférences à la Faculté des sciences de Caen, Avec préface de M. Brillouin. — Un vol. de 96 p. (25 × 16). — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — 7,50 fr.

Cette brochure reproduit en première partie (pp. 1-37) un article paru en février 1922 dans le Bulletin des sciences mathématiques, analysant avec quelques remarques judicieuses l'ouvrage de A. Einstein traduit par Mlle Rouvière : *La théorie de la relativité restreinte et généralisée* (mise à la portée de tout le monde) et celui d'Eddington traduit par M. Rossignol : *Espace, Temps et Gravitation.*

(1) Voir cette Revue, t. 80, pp. 522, seqq.

La deuxième partie (pp. 38-62) intitulée « Aspect objectif de la théorie de la relativité » est un résumé très condensé de l'enseignement de M. Langevin sur cette matière au Collège de France. Cette partie sera lue avec le plus grand intérêt par ceux qui ont déjà étudié d'autres exposés détaillés, comme ceux d'Eddington ou de Becquerel. Elle met dans un relief saisissant la puissance de déduction de la théorie nouvelle et l'admirable synthèse de lois physiques qu'elle réalise.

Dans la troisième partie (pp. 63-95) l'auteur essaie de présenter « sous une forme aussi simple et aussi succincte que possible, le contenu essentiel de cette théorie, en laissant de côté toutes les justifications et tout le détail des conséquences ». Il ne s'adresse pas à qui ne posséderait pas une connaissance approfondie de la physique, et des notions de géométrie et d'analyse ; mais le public pourvu de ces qualités lira avec fruit cet exposé.

A propos de la mesure relative du temps, il faut toutefois relever, p. 72, une erreur contenue dans une simple parenthèse, mais qui entraînerait des conséquences considérables. Si, d'après la théorie, des observateurs en mouvement les uns par rapport aux autres apprécient différemment la simultanéité et le rythme de la durée, il ne s'ensuit pas qu'ils puissent aboutir à juger différemment de l'ordre de succession d'une série d'événements.

H. Dopp.

La question préalable contre la théorie d'Einstein, par H. Bouasse. — Une brochure de 28 pages (18 × 11). — Paris, Blanchard, 1923. — 1,50 fr.

Cette brochure est la reproduction de l'article paru dans le numéro de janvier 1923 de Scientia, Paris, Alcan.

M. Bouasse y prend nettement position, comme « physicien de laboratoire » contre la tendance relativiste, qui d'après lui est de la métaphysique incompréhensible Aux relativistes qui veulent scruter les notions de mesure d'espace et de temps, pour faire cadrer la théorie physique avec l'expérience, voici la question préalable qu'il oppose : « Les données intuitives de notre cerveau forment un bloc que vous n'avez pas le droit de diviser. Si vous en rejetez une partie [espace

et temps], vous êtes fatalement conduit à rejeter le tout : ce qui supprime toute possibilité de connaissance ».

L'auteur semble perdre de vue que les physiciens relativistes sérieux laissent subsister, en première approximation, toute l'optique classique à condition de la rapporter à un système de référence déterminé. Pour les besoins courants du laboratoire, ils continueraient donc à enseigner cette branche de la même manière, comme il le souhaite avec raison.

Quant à l'éther, s'ils lui dénient des propriétés mécaniques, ils lui attribuent les propriétés de champ électromagnétique suffisantes pour représenter les phénomènes. Puisque « en physique la réalité de l'éther n'est pas en question », cette méthode paraît irréprochable.

H Dopp.

Interférences, par H. Bouasse et Z. Carrière. — Un vol. de xxxi-462 pages (25 × 17). — Paris, Delagrave, 1923.

La préface, de M. Bouasse, est intitulée : « Discours sur le style ». Elle porte en épigraphe : « Dur, sec, plein ». L'auteur y donne, sous la forme originale et mordante dont il est coutumier, de judicieux conseils sur le style français « scientifique ». Ce style, nettement distinct du style « littéraire » est celui qui convient dans l'exposé d'un problème scientifique ou dans les rapports techniques ou industriels. Il ne manque donc pas d'importance. M. Bouasse se prévaut à bon droit du succès de ses propres ouvrages, même à l'étranger, pour dicter les préceptes de la rédaction : il devrait faire autorité. La lecture de sa préface sera profitable même aux professeurs d'humanité ; elle appellera leur attention sur un point important de la formation intellectuelle.

Ce nouveau volume de la Bibliothèque scientifique pour l'ingénieur et le physicien est écrit avec la collaboration de M. l'abbé Carrière, professeur à l'Institut catholique de Toulouse. Le travail commun de ces deux auteurs a enrichi cette bibliothèque d'un traité excellent.

Le lecteur, ou plutôt l'étudiant, y trouve un guide dévoué et sûr, qui lui expose les questions suivant une méthode éminemment pédagogique ; d'abord sous un aspect général

assez simple, puis avec le détail des discussions serrées et l'indication des données concrètes de l'expérience. Il est comme entraîné à faire l'étude par lui-même ; sans cesse on lui recommande d'observer et de mesurer les admirables phénomènes de la composition des vibrations lumineuses et on lui en met en mains les moyens, généralement très simples. L'élève intelligent qui aura goûté de cette méthode, ne peut qu'en rester épris ; il lui devra de posséder le sujet de son étude, et en conservera le goût de la recherche.

Le premier chapitre (29 pages) groupe les théorèmes de cinématique de composition des mouvements pendulaires qui seront utilisés fréquemment dans la suite.

Le chapitre deuxième (15 pages) donne de très précieux renseignements généraux sur le matériel de laboratoire. (Souvent l'auteur montre comment construire les appareils soi-même, à peu de frais.)

Le chapitre troisième (28 pages) est à la fois une introduction et un résumé. Il énonce les hypothèses fondamentales dont le volume contient le développement et les vérifications expérimentales. A travers l'enchevêtrement de la suite, il projette la clarté et marque l'unité.

Les trois chapitres suivants (24, 18 et 21 pages) traitent des miroirs de Fresnel et des dispositifs analogues (demi-lentilles de Billet ; biprisme de Fresnel ; bilame), de leur emploi en lumière monochromatique, puis en lumière non-monochromatique ; avec une source ponctuelle, avec une fente.

Les chapitres septième et huitième (29 et 23 pages) préparent à l'étude des interféromètres, en résolvant des problèmes fondamentaux, notamment celui des effets qui résultent, pour deux faisceaux lumineux qui interfèretn, de l'interposition d'une lame isotrope plan parallèle (compensateur d'Arago, de Jamin, de Michelson) ; on y explique la mesure interférentielle des indices, puis on étudie les franges des lames minces localisées à l'infini.

Les chapitres neuvième et dixième (30 et 33 pages) traitent en détail des franges des lames minces localisées sur la lame et en particulier des anneaux de Newton, avec de nombreuses applications : mesure de l'épaisseur des lames minces, dilatomètre interférentiel.

Le chapitre onzième (43 pages) contient la théorie des franges des lames épaisses, et en particulier celle de l'appareil de Jamin, et de ses applications.

Au chapitre suivant (37 pages) se trouve une étude approfondie de l'interféromètre de Michelson et de son emploi en métrologie. Les auteurs en font un exposé limpide.

Les chapitres treizième et quatorzième (33 et 28 pages) traitent des conditions d'achromatisme des franges, en particulier pour certains systèmes, et de la localisation des franges.

Le chapitre quinzième (29 pages) donne la théorie des ondes stationnaires, et montre que dans la théorie électromagnétique, le vecteur de Fresnel est la force électrique ; c'est lui qui produit les actions chimiques et physiologiques de la lumière; le vecteur de Neumann est la force magnétique. La photographie des couleurs est exposée comme application.

Le dernier chapitre (23 pages) expose dans les grands traits ce qu'on appelle la diffraction des rayons X. Ce phénomène connexe des interférences s'interprète par l'introduction du principe d'Huygens-Fresnel.

H. Dopp.

La constitution de l'atome et les raies spectrales, par A. Sommerfeld, traduit sur la troisième édition allemande par H. Bellenot. — Premier fascicule, 384 pages. Deuxième fascicule, 360 pages (25-17). — Paris, Blanchard, 1923. — 25 fr. et 30 fr.

L'auteur est de ceux qui ont le plus contribué aux progrès éclatants de la physique des atomes en ces dix dernières années. Il veut dans cet ouvrage donner aux lecteurs non spécialistes un exposé suffisamment détaillé, mais pas trop difficile, des phénomènes spectroscopiques et de leurs interprétations nouvelles. La première édition date de septembre 1919 ; dès un an après paraissait la seconde, sans remaniements notables. La troisième sortit de presse en 1922. Cette fois l'auteur introduisait de nombreux changements, et, tout en reconnaissant que les études en question sont toujours en plein travail, il espérait en avoir établi définitivement les plus importants résultats.

M. Bellenot fut heureusement inspiré quand il entreprit la traduction de ce livre : en raison des matières expliquées c'est, comme il le dit justement, une « Somme » à l'usage du physicien.

Essayons de faire au moins entrevoir la richesse de contenu de ce traité ; impossible de préciser en peu de lignes les conceptions théoriques qu'il développe. Sans doute l'auteur a considérablement facilité la lecture en renvoyant dans huit appendices les développements mathématiques les plus difficiles (pp. 630-721) ; mais la lecture exige encore une véritable étude ; elle suppose d'ailleurs un sérieux acquis de connaissances.

Des préliminaires sont groupés dans les 67 pages du chapitre premier : développement de l'électrodynamique. Ions et électrons. Rayons cathodiques et canaux, α et β, Roentgen et γ. L'hypothèse des quanta du rayonnement est introduite par l'observation de l'effet photoélectrique (dégagement d'électrons) et du phénomène inverse (radioactivité).

Le chapitre deuxième intitulé « Système actuel des éléments » (pp. 68-136) fait connaître en détail les périodes, petites et grandes, en lesquelles se distribuent par leurs propriétés chimiques les corps simples, et la récente numération atomique. L'atome y est assimilé à un système planétaire dont la charge positive résultante du noyau central est égale au nombre atomique. Suivent quelques essais encore inadéquats de modèles moléculaires. Puis les lois des transformations radioactives, et la théorie de l'isotopie, quelques notions sur la physique du noyau, sur les propriétés de la périphérie et du centre des atomes.

Le chapitre troisième tire des spectres de Roentgen leurs merveilleuses révélations (pp. 137-228). Elles commencèrent avec la découverte de la diffraction dans les cristaux par Laue. Les méthodes de mesure sont allées se perfectionnant, et les lois bientôt découvertes guidèrent la sagacité des chercheurs. L'exposé est didactique : d'abord des généralités sur les séries K, L, M et leurs limites d'excitation ; puis la série K et les conséquences qu'entraîne pour le classement naturel des éléments le fait que d'un corps à l'autre cette série se déplace vers les courtes longueurs d'onde ; les séries L et M et les relations entre les doublets ; enfin les limites d'excitation et d'absorption.

Les succès les plus retentissants de Bohr consistent incontestablement dans l'explication du spectre de l'hydrogène (le plus aisément déchiffrable). Ce spectre fait l'objet du chapitre IV (pp. 239-312). On trouvera là une introduction complète à la théorie des quanta par l'étude d'un oscillateur linéaire et d'un oscillateur plan, des données expérimentales sur les spectres de l'hydrogène et l'application de la théorie de Bohr à la série de Balmer. Puis l'auteur explique les effets, négligés d'abord, de l'entraînement du noyau atomique et sa propre trouvaille de l'ellipticité des orbites électroniques; enfin l'orientation de ces orbites dans l'espace suivant des directions privilégiées par des conditions quantiques.

Quelle que soit la fécondité du concept de quantum de rayonnement, il reste inconciliable avec celui de la continuité que suppose la méthode classique, et la théorie ondulatoire garde encore l'avantage dans l'explication notamment de la propagation. Le rapprochement des deux points de vue théoriques n'est pas encore fait ; mais on y travaille et le chapitre cinquième (pp. 313-384) est certes une importante contribution à cet effort. L'auteur y étudie l'onde sphérique et sa propagation, et formule l'application à ce sujet des principes de la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement. Il en déduit le principe de sélection et la règle de polarisation de Rubinowicz : en l'absence d'un champ de force, le nombre quantique azimutal peut varier au plus d'une unité lorsque la configuration de l'atome varie ; si ce nombre varie, la lumière est polarisée circulairement; s'il ne varie pas, il n'y a pas de rayonnement. L'auteur trouve ensuite que la portée du principe de sélection est singulièrement diminuée dans le cas ordinaire d'un champ de force. Il explique l'effet Stark (des champs électriques intenses) sur les trajectoires de l'électron de l'hydrogène et la décomposition des raies de Balmer qui en résulte, puis l'effet de Zeeman régulier.

Le chapitre VI (pp. 385-492) résume l'état actuel des connaissances sur les séries spectrales. Il établit d'abord des constatations empiriques relatives aux schémas des séries ; puis donne leur interprétation en théorie des quanta et reconnaît en quel sens se vérifie le principe de sélection. Il examine quelques résultats théoriques de la méthode

du choc des électrons ; montre le passage continu des séries de Roentgen aux séries optiques. Il déduit la multiplicité des raies (doubles, triples), qui se retrouvent dans les différentes séries d'un même élément. Il énonce deux théorèmes nouveaux dont les conséquences pourraient être considérables en analyse spectrale : *le théorème du déplacement spectroscopique* : le spectre-étincelle d'un atome (ionisé) est le même que le spectre d'arc ou de flamme de l'atome (non-ionisé) dont le nombre atomique est inférieur d'une unité ; et le *théorème d'échange* : un nombre pair d'électrons périphériques entraîne un spectre de triplets, un nombre impair des doublets. Puis l'auteur étudie l'effet Zeeman anormal, action du champ magnétique sur les raies multiples, et y trouve de belles confirmations de sa méthode théorique.

Les spectres de bandes ont été explorés moins complètement et moins systématiquement encore que les spectres de raies. Le chapitre VII leur est consacré (pp. 493-542). Il contient des remarques historiques et des généralités sur les résultats expérimentaux ; puis un essai d'explication des bandes d'absorption infra-rouges et des spectres de rotation et de vibration des molécules ; une interprétation des têtes de bandes ; une loi des arêtes de bandes, et quelques idées sur les systèmes de bandes et les spectres de raies multiples. Enfin l'auteur explique le mouvement gyroscopique de la molécule et tâche de rendre compte de l'effet Zeeman pour les bandes. Quelques pages seulement traitent du spectre continu.

Le chapitre VIII (pp. 543-629) contient la théorie de la structure fine des raies, que Sommerfeld a déduite des principes de la théorie de la relativité. Après des préliminaires sur la variabilité de la masse et l'inertie de l'énergie, et sur le mouvement képlérien généralisé qui en résulte, l'auteur détaille les corrections de la relativité à introduire pour l'interprétation de la structure fine des raies de l'hydrogène et l'étude systématique générale des spectres de Roentgen. Les vérifications par l'expérience constituent une impressionnante confirmation par la spectroscopie de la théorie de la relativité.

Cette traduction de l'ouvrage de Sommerfeld se classe en rang honorable dans la très utile *Collection des Mono-*

graphies scientifiques étrangères que dirige M. Juvet. Nous devons être reconnaissants à M. Bellenot de son fécond labeur. Toutefois, pour une édition prochaine, qui ne manquera pas sans doute de suivre une nouvelle édition allemande, nous souhaiterions que la pensée de l'auteur fût serrée de plus près et rendue plus fidèlement dans ses nuances. Il y aura aussi avantage à garder dans le titre courant des pages l'indication du chapitre et du paragraphe, comme dans l'ouvrage original. On suit ainsi plus aisément les références aux formules, puisque celles-ci sont numérotées par paragraphes.

H. Dopp.

Cours de physique générale, par H. Ollivier. Tome troisième : *Mouvements vibratoires. Acoustique. Optique physique. Ondes électromagnétiques. Électro-optique. Effets optiques du mouvement.* Deuxième édition entièrement refondue. — Un vol. de 712 pages (25×17) avec 418 fig. — Paris, Hermann, 1923. — 45 fr.

La première édition de ce tome parut en 1918. La Revue en a rendu compte (1). Cette édition nouvelle garde les qualités si remarquables de la précédente : netteté, aisance de l'exposé.... Elle tient compte des progrès réalisés depuis par la science, sans que l'auteur ait jugé bon d'abandonner son principe de n'indiquer que les meilleures références à des ouvrages plus spéciaux. Inutile de signaler une à une les nombreuses transformations : additions de détails, modifications de l'ordre et du groupement des chapitres et des paragraphes. Indiquons du moins trois additions principales. Les notions anatomiques et physiologiques sur l'oreille humaine ont été quelque peu développées. Le chapitre des « cristaux liquides », sous le titre nouveau plus approprié de « états mésomorphes », présente en condensé (31 pages) les belles recherches des Friedel et des Mauguin sur les états smectique et nématique, intermédiaires entre l'état cristallin et l'état liquide. Un chapitre est consacré à la lampe

(1) Revue des Questions scientifiques, t. 78. pp. 247-249. Voir l'analyse de la 2e édition du tome I, *Ibid.*, t. 80. p. 196 ; du tome II. *Ibid.*, t. 82, p. 247.

à grille et ses applications. Les notions rudimentaires sur la relativité dite « restreinte » ont été supprimées.

Une table alphabétique des matières traitées dans les trois volumes du *Cours*, qui ne figurait pas dans la première édition, facilitera grandement la consultation de cet excellent ouvrage.

H. D.

VII. — Comment recevoir la téléphonie sans fil, par Joseph Roussel. — 221 pages (23 × 14), 2e édition. — Paris, Vuibert, 1923. — 6 fr.

Monsieur Roussel a collationné dans ce dernier livre des articles intéressants qu'il a fait paraître dans des revues de vulgarisation.

Point de théorie ardue, point de mathématiques, non ! Comme lui-même l'annonce dans la préface, il n'a voulu donner qu'une indication précise et claire sur la manière de monter soi-même et de se servir des appareils de T. S. F.

Depuis le poste à galène... (que n'est-il, au milieu de tant de nouveautés, rajeuni lui-même par un principe de solution de détecteur indéréglable !), jusqu'au poste d'émission d'amateur, toute description y est concise mais suffisante, et le choix des différents schémas vraiment très heureux.

Pas n'est besoin de preuve plus convaincante de la valeur pratique de ce livre que l'apparition d'une seconde édition augmentée de quelques articles, un mois après la mise en vente de la première !

Je regrette que l'auteur n'ait pas attiré l'attention du lecteur bienveillant sur les postes autodynes parasites. En général, la question des parasites est peu étudiée dans les ouvrages de vulgarisation et pourtant elle serait de nature à intéresser beaucoup d'amateurs !

J. D.

VIII. — Les Isotopes, par F. W. Aston. Traduction de S. Veil, avec préface de G. Urbain. — Un vol. de xiv-164 pages (23 × 14). — Paris, Hermann, 1923.

Lorsqu'un chercheur, après avoir effectué de nombreux travaux sur un même sujet, s'est élevé à une idée ou à une

méthode nouvelle, il lui devient possible d'exposer d'une manière cohérente et par suite agréable l'ensemble des résultats personnellement obtenus. Ainsi naissent des ouvrages tels que celui de Sabatier sur la catalyse, des Bragg sur les rayons X, de J. J. Thomson sur les rayons d'électricité positive. C'est à cette série que se rattache éminemment le livre de M. Aston sur les isotopes.

Après avoir suivi l'enchaînement logique des découvertes qui aboutirent à la notion d'isotopie, l'auteur quitte le sujet des isotopes radioactifs. Les chapitres les plus importants de l'ouvrage nous font connaître les méthodes élaborées par Thomson, par Dempster et surtout par Aston lui-même pour la mesure de la masse des particules positives. L'histoire de l'isotopie du néon est étroitement liée aux progrès de cette technique et est exposée à cette occasion.

Suivent les résultats obtenus par les autres éléments dont les poids atomiques purent être déterminés par le spectrographe de masse. Après quelques aperçus théoriques d'un caractère fort général, l'ouvrage se termine par deux chapitres bien intéressants sur l'identité spectrale presque absolue des éléments isotopes et sur les possibilités théoriques de leur séparation.

L'ouvrage de Aston se signale par un double mérite :

Il offre à tous ceux qui n'auront point l'occasion de faire des mesures à l'aide d'un spectrographe de masse une image, aussi concrète qu'un livre peut la donner, de la construction et de l'usage de ce nouveau dispositif d'expérience.

Il groupe les principales données obtenues jusqu'à ce jour et facilite ainsi les recherches dans la littérature.

W. Mund.

La pratique électrochimique, par E. Muller. Traduction de J. Barbaudy. — Un vol. de v-340 pages. — Paris, Béranger, 1923.

Voici un ouvrage qui rendra bien des services. Il résume en effet une longue expérience, il est écrit avec le souci constant de fournir le renseignement pratique, c'est-à-dire qu'on ne peut déduire de la théorie. Celle-ci, d'autre part, n'est pas négligée. C'est même l'application systématique qui en est faite à chaque occasion, qui confère à ce cours son caractère instructif et formatif.

Ceux qui veulent connaître l'électrochimie et effectuer des recherches dans ce domaine si accessible, trouveront indispensable de compléter la lecture d'un ouvrage théorique, tel que celui de Foerster, en répétant et en méditant ces exercices si bien décrits. Après avoir lu dans l'ouvrage de Muller la description d'une manipulation, on a envie de faire celle-ci. C'est que deux conditions sont remplies : D'abord les détails sont assez minutieux pour que l'on s'imagine aisément d'avance chaque opération à effectuer. Ensuite la discussion est assez claire pour que l'on perçoive la signification théorique, c'est-à-dire l'intérêt de l'expérience.

Le traducteur n'a pas toujours atteint l'élégance du langage, mais en revanche il a fait très judicieusement des additions nombreuses et utiles. Il serait injuste de ne pas reconnaître son mérite tout spécial.

W. Mund.

IX. — Les rayons d'électricité positive et leur application aux analyses chimiques, par Sir J. J. Thomson, O. M., F. R. S., Master of Trinity College, Cambridge. Traduit d'après la deuxième édition anglaise par R. Fric, ingénieur, et A. Corvisy, professeur agrégé de Physique. — Un vol. de x-224 pages (25 × 17), 42 figures et planches. — Paris, Hermann, 1923.

En 1886 Goldstein découvrit une nouvelle sorte de rayons auxquels il donna le nom de rayons-canaux. Longtemps on avait cru que ces rayons n'étaient en aucune façon influencés par un champ magnétique ou électrique. En 1898 cependant Wien, en employant des champs magnétiques très intenses, détermina ses déviations qui montraient que ces rayons étaient constitués par des particules positives : c'est pourquoi Sir J. J. Thomson leur a donné le nom de rayons positifs. Les valeurs obtenues pour $\frac{e}{m}$ attribuent à ces particules une masse environ 2000 fois plus grande que celle de l'électron, c'est-à-dire qu'elles sont de l'ordre de grandeur de la masse absolue des atomes. En soumettant ces rayons positifs à la fois à un champ électrique et à un champ magnétique, perpendiculaires l'un à l'autre

et situés dans un plan normal à la vitesse des rayons, les particules qui ont la même valeur de $\frac{e}{m}$ viennent former sur une plaque photographique une parabole, en raison de leurs vitesses différentes, et s'il y a plusieurs catégories caractérisées par des $\frac{e}{m}$ différents, il y aura autant de paraboles distinctes sur la plaque ; en admettant donc que toutes les particules possèdent la même charge e égale à la charge électrique élémentaire, il y aura là un moyen d'atteindre directement m. C'est ce procédé, on le sait, qui a permis à M. Aston de déterminer que beaucoup de corps considérés jusqu'ici comme simples sont en réalité des mélanges de substances ayant des propriétés physiques et chimiques identiques ou du moins tellement semblables que les procédés ordinaires d'analyse ne parviennent pas à les séparer, mais ayant des masses différentes (isotopes). Dans ce livre Sir J. J. Thomson rend compte des expériences sur les rayons positifs qui ont été effectués au Laboratoire Cavendish. Après avoir exposé brièvement l'historique des rayons positifs, il donne la façon de les produire, leurs propriétés, leur application surtout à l'analyse chimique et il apporte une attention toute spéciale aux propriétés qui semblent jeter une lumière sur les problèmes de la structure des molécules et des atomes et sur la question de la combinaison chimique. « Une des principales raisons qui m'ont engagé à écrire ce livre, disait-il dans la préface de la 1re édition, c'est l'espoir qu'il pourrait inciter d'autres expérimentateurs, particulièrement les chimistes, à essayer cette méthode d'analyse. Je suis sûr qu'il y a beaucoup de problèmes en chimie qui pourraient être résolus avec une bien plus grande facilité par cette méthode que par toute autre. La méthode est d'une sensibilité surprenante, plus grande même que celle de l'analyse spectrale ; elle ne demande qu'une quantité infinitésimale de matière et n'exige pas qu'elle soit spécialement purifiée ; la technique n'est pas difficile si l'on possède les moyens de faire un vide avancé ».

Depuis lors, cet espoir a été en grande partie réalisé, comme le montrent abondamment les résultats merveilleux auxquels sont arrivés M. Aston et d'autres. Mais Sir J. J.

Thomson attend plus : « Je suis convaincu, dit-il dans la préface de la seconde édition, que nous ne sommes encore qu'au commencement d'une moisson de résultats qui viendront élucider les processus de la combinaison chimique, et ainsi un pont sera jeté sur l'un des fossés les plus profonds qui séparent encore la Physique de la Chimie ».

J. Pauwels, S. J.

Méthodes actuelles d'expertises employées au Laboratoire municipal de Paris et Documents sur les matières relatives a l'alimentation, publiés sous la direction de M. André Kling, Directeur du Laboratoire municipal de Paris. Tome II : *Matières grasses, Beurre, Cires et Paraffine, Huiles minérales.* — Un vol. de 328 pages (25 × 17). — Paris, Dunod, 1922. — Tome III : *Boissons et dérivés immédiats.* — Un vol. de 292 pages (25 × 17). — Paris, Dunod, 1923.

M. Kling continue son excellente et instructive collection. Les deux volumes récemment parus traitent d'ailleurs de produits particulièrement intéressants. M. Alexandre Leys a partagé son étude sur les matières grasses en deux parties. Dans la partie générale, après avoir décrit brièvement la nature, les propriétés et la composition des matières grasses, il en étudie longuement les principales méthodes d'analyse : analyse par saponification des glycérides et détermination des classes de constituants, analyse par l'isolement en nature de certains constituants des corps gras, analyse par la détermination des indices physiques et chimiques. La deuxième partie du travail est consacrée à la monographie des principales matières grasses, c'est-à-dire des plus utiles, de celles qui se présentent le plus souvent ; le beurre toutefois sera étudié dans un travail spécial. La classification employée est celle de Lewkowitsch basée à la fois sur les propriétés physiques et sur les propriétés chimiques : consistance à la température ambiante, indice d'iode et siccativité ; présence de cholestérine ou de phytostérine (servant à distinguer les matières grasses d'origine animale ou végétale). Les corps gras se trouvent donc divisés d'abord en huiles, matières grasses fluides à la température ambiante, et graisses, matières

grasses qui restent concrètes à cette même température. Ultérieurement les huiles sont classées en huiles végétales siccatives, huiles végétales demi-siccatives, huiles végétales non siccatives, huiles animales ; les graisses, en graisses végétales et graisses animales. Chaque produit est étudié quant à son origine, sa composition, ses constantes ; pour les principaux d'entre eux on donne aussi les réactions, les falsifications les plus fréquentes, ainsi que les manières de les déceler. Étant donnée l'importance exceptionnelle du beurre, M. Pons en fait l'étude dans un travail spécial où il décrit au long tout ce qui se rapporte à cette graisse éminemment alimentaire, sa fabrication, ses caractères généraux, sa composition ainsi que les variations de celle-ci, enfin les différents procédés d'analyse et la façon d'interpréter les résultats. Quoique ne rentrant guère directement dans la catégorie des matières relatives à l'alimentation, à cause cependant des similitudes qu'ils présentent avec les produits précédents, M. Leys donne dans ce même volume tout ce qui se rapporte aux cires et à la paraffine, à l'essence de térébenthine, aux huiles minérales. L'étude de ces dernières ne manque pas d'intérêt en nos temps surtout où la consommation des essences est de plus en plus forte, malgré la menace d'un épuisement plus ou moins prochain des réserves mondiales.

Le volume consacré aux boissons traite du vin, du cidre et du poiré, de la bière, du vinaigre, enfin des tartres et lies. La grande partie du volume est consacrée au vin. En effet, comme le fait remarquer M. Schmutz, le vin est, de toutes les boissons, celle qui donne naissance aux plus importantes transactions commerciales ; son prix relativement élevé, la facilité avec laquelle on peut le falsifier sans que ses propriétés organoleptiques en soient modifiées, ont de tout temps eu pour résultat la vente d'une quantité notable de vins ayant subi une altération quelconque. Le vin est d'ailleurs un liquide de composition variable renfermant un grand nombre d'éléments dont les teneurs respectives varient avec une foule de circonstances ; aussi la constatation de la fraude est-elle des plus délicates. Le problème se trouve en outre depuis quelques années compliqué par la production sans cesse grandissante de vins de composition tout à fait anormale (Aramon de plaine),

présentant tous les caractères d'un vin mouillé où l'addition d'eau serait masquée par de l'acide tartrique. Un vin peut donc paraître suspect sans être nécessairement falsifié ; seul un nombre suffisant d'échantillons de comparaison permettra à l'expert de constater la fraude. Tout cela explique suffisamment l'ampleur donnée à cette étude dans laquelle M. Schmutz examine successivement la production et la conservation du vin ; les manipulations licites et illicites ; les altérations du vin ; sa composition et enfin son analyse et ses essais. Comme toujours, le travail se termine par des indications sur l'interprétation des résultats analytiques.

Les travaux consacrés au cidre et au poiré par M. Génin, à la bière par M. de Brévans, au vinaigre par M. Génin, enfin aux tartres et lies par M. Florentin, sont conçus d'après le même plan ; ils sont cependant moins développés : en effet, quoique certains de ces produits, telle la bière, aient une importance commerciale fort considérable, les falsifications y sont moins nombreuses, et plus faciles à déceler.

F. S.

LES PROGRÈS DE LA CHIMIE EN 1920, traduction française autorisée des *Annual Reports on the Progress of Chemistry for* 1920, vol. XVII, by the « Chemical Society », publiés sous la direction de M. ANDRÉ KLING, directeur du Laboratoire municipal de Paris. — Un vol. in-8° carré de XVI-368 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1922.

Dans son Avant-Propos, M. Kling fait ressortir tout l'intérêt que présente une publication telle que les *Annual Reports*. En ces dernières années de véritables révolutions se sont accomplies, un grand nombre de notions et théories qui avaient été les pierres d'assise de la Science du XIXe siècle ont été de nouveau remises en discussion à la lumière de faits expérimentaux nouveaux ; de la critique, elles sont sorties complétées et parfois remplacées par des notions, théories ou hypothèses nouvelles d'une hardiesse qui ferait l'effroi de quiconque n'aurait pas évolué à l'unisson du mouvement scientifique général. Grâce à ces publications annuelles sur les progrès de la chimie, ce mouvement d'idées peut être suivi dans ses grandes lignes, et cela avec le minimum

d'efforts, par tous les lecteurs qui s'y intéressent. Malheureusement, si les marques de satisfaction n'ont pas manqué à l'œuvre de M. Kling, celle-ci n'a pas trouvé dans le public assez d'appui matériel ; aussi, en présence d'une vente tout à fait insuffissante à couvrir les frais d'édition, M. Kling se voit avec tristesse obligé d'annoncer qu'il ne peut à l'avenir continuer l'œuvre entreprise il y a 9 années.

Les questions traitées sont les mêmes que dans les volumes précédents ; toutefois, l'étude sur la chimie générale et la chimie physique est de W. C. Mc C. Lewis, M. A. D. Sc., celle sur la série aliphatique de R. R. Pickard, D. Sc., Ph. D., F. R. S., celle sur la série hétérocyclique de J. Kenner, Ph. D., D. Sc. et il y a de nouveau une étude sur la radioactivité par F. Soddy, M. A., F. R. S.

Signalons quelques-uns des faits les plus intéressants qui sont mentionnés.

En chimie générale et chimie physique des travaux ont été faits sur l'énergétique du réseau cristallin, ainsi que sur le réseau cristallin et les champs magnétiques moléculaires, sur les potentiels d'ionisation et de résonance dans les gaz, enfin le modèle atomique de Bohr a été soumis à une critique serrée. En chimie minérale de nombreux mémoires ont été publiés, parmi lesquels ceux de Aston, Rutherford, Barkins, et Wendt et Landauer dépassent de beaucoup tous les autres en importance, car, sans contredit, ils promettent de révolutionner les conceptions fondamentales de la chimie. Ici aussi les principales nouveautés se rapportent à la structure de l'atome, à l'existence des isotopes. Ces mêmes idées reviennent tout naturellement dans la revue des progrès réalisés dans le domaine de la radioactivité. Dans ce dernier domaine, citons encore les études faites sur la radioactivité naturelle extrêmement faible de la matière ordinaire ; on s'était demandé si cette activité était entièrement due aux impuretés radioactives connues ou si, pour une partie au moins, elle constituait une propriété spécifique des corps. Des études faites sur une sphère de laiton montrent qu'il y aurait émission de particules α dues à une désintégration réelle du métal, le cuivre ou le zinc, suivant la période extrêmement longue de 10^{16} années. Par transformations à rayons α, le cuivre engendrerait un sotope du cobalt, et le zinc un isotope du nickel.

Comme on le voit, l'année 1920 a été féconde en progrès et tout fait prévoir pour les années à venir une augmentation considérable de travaux de ce genre. C'est une raison de plus de regretter que M. Kling et ses collaborateurs se voient dans l'impossibilité matérielle de poursuivre leur si utile publication et par laquelle ils ont bien mérité de la Science.

J. PAUWELS, S. J.

MANUAL DE QUIMICA MODERNA TEORICA Y EXPERIMENTAL CON SUS PRINCIPALES APLICACIONES AL COMERCIO Y A LA INDUSTRIA por el P. EDUARDO VITORIA, S. J., Doctor en ciences, Director del Instituto quimico de Sarria (Barcelona). Septima edicion aumentada. — Un vol. de VIII-418 pp. (20×13) avec 221 fig. dans le texte. — Barcelona, Tipografia catolica Casals, 1923.

Peu de livres peuvent se vanter d'un succès pareil à celui du MANUAL du P. Vitoria. En quelque 12 ans il n'a pas eu moins de sept éditions, et 18 mois ont suffi pour épuiser la dernière, tirée cependant à 5500 exemplaires. Cette nouvelle édition ne diffère guère des précédentes. C'est surtout une connaissance pratique des différents corps avec leurs principales applications industrielles et commerciales que l'auteur a en vue ; les notions plus théoriques, chimie générale, chimie physique, sont données d'une façon assez concise dans la cinquième et dernière partie ; l'auteur les expose plus amplement dans ses autres ouvrages. Une originalité de ce MANUAL est la suppression de la chimie organique. Depuis la découverte des synthèses organiques, la barrière entre produits minéraux et organiques était tombée, et c'est uniquement pour des raisons historiques ainsi que pour certains motifs d'ordre pratique que généralement on maintient la distinction, en donnant d'ailleurs à la chimie organique une définition nouvelle : *la chimie des composés de carbone* ; cependant l'élément lui-même, ainsi que quelques-uns de ses composés les plus simples, anhydride carbonique et carbonates, oxyde de carbone, parfois le cyanogène et ses dérivés sont donnés en chimie minérale. Le P. Vitoria trouve avec raison cette manière de procéder peu logique, et réunit l'élément carbone avec tous ses dérivés dans une

troisième partie, appelée *Quimica del carbono*, placée entre les métalloïdes, immédiatement après le silicium, et les chapitres consacrés aux métaux.

J. Pauwels, S. J.

X. — La Théorie de l'Allotropie, par A. Smits, Professeur de Chimie générale à l'Université d'Amsterdam, traduite par J. Gillis, Docteur en Sciences chimiques. — Un vol. de XIX-523 pages (25 × 16) et 239 figures dans le texte. — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — 55 fr.

L'édition primitive, en langue allemande, date de 1921 et elle a été analysée dans cette Revue, aux pp. 261 et suivantes du tome II (juillet 1922).

Continuant la série des travaux célèbres de l'École américaine et hollandaise de chimie physique, cet ouvrage ne pouvait manquer d'obtenir rapidement un grand succès. Les savants ont été heureux de trouver, rassemblés en un volume, les vues théoriques de l'un des maîtres de la chimie contemporaine sur le phénomène de l'allotropie et ses applications, ainsi que les nombreux faits d'expérience, accumulés pendant des années, avec l'aide de plusieurs collaborateurs, dans le but de soumettre la doctrine à un contrôle sévère.

L'électrochimie apporte un important tribut de vérification à la théorie de A. Smits, et celle-ci permet de rendre compte d'un grand nombre de phénomènes, les uns connus avant lui, mais inexpliqués, les autres prévus et réalisés par lui. Par exemple, des modifications de la température de solidification et de fusion, de la tension de vapeur et même du poids spécifique.

Néanmoins, tous les savants ne croient pas cette théorie générale de l'allotropie à l'abri de toute critique. M. Smits a trouvé des détracteurs, surtout parmi les chimistes de la vieille école qu'effraye tout raisonnement d'allure plus ou moins mathématique. Suivant d'aucuns, le physico-chimiste hollandais aurait même délibérément compliqué son sujet d'un fatras de symboles et de diagrammes n'ayant d'autre but que de dissimuler ses connaissances, tel un Fermat, au lieu de les répandre. Bien à tort, ils lui reprochent d'être tellement préoccupé de la dissection mathématique des

composés en leurs diverses phases, qu'il ne porte plus aucun intérêt à leur nature chimique ! Tel critique va jusqu'à soutenir que l'ouvrage mériterait le sous-titre : « La règle des phases rendue difficile ».

Tout en maintenant les réserves que nous avons formulées dans le compte rendu de l'édition allemande, nous ne sommes nullement de l'avis de ceux qui essaient d'amoindrir l'œuvre si grandiose de Smits.

La langue allemande étant peu accessible au plus grand nombre des savants, des traductions étaient nécessaires et elles n'ont pas tardé à voir le jour. Dès 1922, l'ouvrage paraissait en anglais et voici que les physiciens et chimistes d'expression française peuvent se réjouir de l'excellente besogne que vient d'accomplir M. Gillis.

De nombreuses corrections de détail ont été apportées au texte primitif. On a fait une suppression : l'examen, au point de vue électromoteur, du magnésium attaqué par les acides (qui figurait pp. 404-405). Mais il y a une addition importante, consistant en un exposé (pp. 420-426) des résultats de H. Brereton-Baker (1912-1922), qui a fourni une base solide aux prémisses de la théorie de l'allotropie. Étendant ses recherches classiques de dessiccation aux états liquide et solide, il a établi, pour dix substances très différentes, la complexité des phases binaires. La dessiccation intensive laisse entrevoir la possibilité de pénétrer dans l'essence même de cette complexité.

Le présent volume est, typographiquement, un peu supérieur à l'édition primitive et l'on reconnaît aisément les beaux caractères de l'imprimerie Gauthier-Villars. Mais les figures ne sont pas dignes du texte, étant encore moins bien exécutées qu'en 1921 ; le lecteur n'aura cependant aucune difficulté à les lire.

En ce qui regarde la traduction proprement dite, M. Gillis a respecté avant tout l'exactitude des idées de l'auteur et il mérite des éloges. Tout au plus pourrait-on lui reprocher que la phrase française est parfois un peu lourde.

Souhaitons à ce livre le succès qu'a remporté l'édition originale : tous ceux qui s'intéressent au développement de la chimie théorique doivent lire le beau volume de M. Smits.

M. Lecat.

XI. — Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe a la fin du XVIIIe siècle, par Hélène Metzger, Docteur de l'Université de Paris. Première partie. Un vol. in-8° de 496 pages. — Éditions des Presses Universitaires de France, Paris, 1923.

Cet ouvrage qui étudie en détail une période de l'histoire de la Chimie rarement évoquée, intéressera grandement les chimistes et les philosophes.

Les chimistes se délasseront au spectacle curieux de l'enfance de leur science. Ils verront quelles idées bizarres guidaient les iatro-chimistes de la Renaissance dans leurs recherches menées de front, de la pierre philosophale et de la panacée universelle. Ils apprendront comment résoudre tous les mixtes en un sel, un soufre et un mercure, sans compter le phlegme inactif et la terre damnée. Non moins intéressantes sont les théories mécanistes de l'époque post-cartésienne. L'on cherche à découvrir, voire avec l'aide du microscope, les formes à attribuer aux éléments pour rendre compte de leurs réactions : les particules acides sont très pointues, tandis que les alcalis sont constitués de petites masses poreuses où viennent s'embarrasser les acides... etc.

Ce livre intéressera plus encore, peut-être, les philosophes curieux d'observer les démarches de l'esprit humain dans l'élaboration de la science. Ce point de vue philosophique ne reste pas inaperçu à Mlle Hélène Metzger. Elle se préoccupe moins cependant de tirer des conclusions que de donner une histoire bien objective de ces démarches.

Les chimistes se trouvaient devant une énorme variété de faits absolument disparates. Ils voulurent les systématiser. Mais tout d'abord, déroutés par la variété, inaccoutumés aux patiences des méthodes expérimentales, ils ne surent pas dégager des faits la théorie. Une ombre de preuve leur suffit pour bâtir un rêve ; et tant pis pour les faits si le rêve est vaste et s'il paraît rattaché aux traditions philosophiques ou religieuses. Le livre montre cette systématisation se faisant peu à peu sur des bases plus fermes. Les méthodes expérimentales deviennent plus exigeantes en même temps que Descartes oriente la science vers les explications mécaniques. Ce premier volume se termine avant que Newton n'ait mis

au point ces dernières. Nous sommes encore en présence d'une mécanique toute vulgaire et toute qualitative ; mécanique des formes et non des mesures. Les données strictement quantitatives n'ont pas encore pris l'importance qu'elles méritent logiquement.

Signalons la clarté que l'auteur s'est efforcée d'apporter à cet exposé touffu. Chaque chapitre est précédé d'un résumé très détaillé de son contenu.

Qu'on nous permette une remarque : Mlle Hélène Metzger semble croire que l'aristotélisme et la philosophie scolastique se réduisent à leur physique assez baroque. Cette dernière n'est en réalité qu'un hors-d'œuvre dont la ruine ne compromet en rien le fond du système.

Deux mots résument notre impression : Voilà un livre bien documenté et bien pensé.

P. C.

XII. — NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE ET OPTIQUE, DE MINÉRALOGIE ET DE PÉTROGRAPHIE, par H. BUTTGENBACH, professeur à l'Université de Liége. — Une brochure in-8° de 100 pages, II pl. et 145 fig. — Liége, Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, 1922.

Pour ramasser en un exposé aussi concis les données précises, exactes et à la fois claires des sciences complexes qui s'occupent de l'étude des matériaux constitutifs de la croûte terrestre, il faut être un Maître.

Ce n'est pas à dire que, dans l'esprit de l'auteur, cet opuscule soit appelé à remplacer les traités volumineux concernant ces matières. Pour se servir utilement de celui-ci, il faut qu'on soit déjà initié, ou bien que ces pages servent d'aide-mémoire sous la conduite d'un professeur.

Néanmoins tout y est. M Buttgenbach explique la structure intime des *cristaux* naturels et décrit la merveilleuse variété de leurs formes d'une rigueur mathématique surprenante. Les *minéraux* les plus connus y défilent dans l'ordre rationnel de leur composition chimique. Enfin, viennent les *roches* d'après qu'elles sont dues à des dépôts, à des éjaculations des profondeurs terrestres, à des transformations de leur structure intime, ou qu'elles nous sont arrivées des espaces planétaires.

Une table instructive rappelle l'usage que l'homme fait, dans les diverses industries, des pierres que lui offre la nature.

G. SCHMITZ, S. J.

ABRÉGÉ DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE, par EMM. DE MARTONNE, Professeur de Géographie à la Sorbonne. — Un vol. in-8° de II-355 pages, 100 fig. ou cartes dans le texte et 8 pl. de photographies hors texte. — Paris, Librairie Armand Colin, 1922. — 15 fr.

Il n'y a pas lieu de redire, à propos de cet ouvrage, tout ce qui a été dit lors de la parution de son aîné, le remarquable *Traité de géographie physique*, couronné par l'Académie des Sciences. Puisqu'ils sont l'œuvre du même Maître, personne ne doutera que l'*Abrégé* n'ait les qualités pédagogiques et la haute valeur scientifique qu'on a si unanimement prisées dans le *Traité* complet.

Signaler l'existence de l'*Abrégé* suffira pour lui faire une réclame, des plus justifiées d'ailleurs.

Le prix élevé du *Traité* et ses longs développements font que cet ouvrage ne pouvait guère s'adresser qu'à des spécialistes. Il était néanmoins désirable que l'essentiel de la science géographique fût mis à la portée du grand public et, surtout, des jeunes gens studieux, désireux de s'initier aux données et aux méthodes modernes.

L'auteur a très heureusement réalisé ce programme. On trouvera dans l'*Abrégé* non seulement un excellent raccourci des quatre grands chapitres (Climat, Hydrographie, Relief du sol, Biogéographie), mais encore des renseignements bibliographiques fournissant au lecteur les éléments d'une étude plus détaillée ; et l'indication d'exercices pratiques, voire d'excursions, permettant de vérifier sur le terrain les notions acquises.

Il convient de signaler en outre un chapitre original, qui met en lumière les rapports de la Géographie humaine avec la Géographie physique.

Au point de vue plus spécialement didactique, nous regrettons, pour une science où l'illustration a tant d'importance, que l'éditeur n'ait pas trouvé le moyen de mettre à la

disposition de l'auteur une plus grande quantité des clichés qui ont mis en valeur le texte du *Traité*.

G. SCHMITZ, S. J.

POUR COMPRENDRE LES PAYSAGES DE LA FRANCE. Notions pratiques de géographie à l'usage des touristes, par F. MAURETTE. — Un vol. petit in-8° de XII-258 pages, 421 dessins et photographies et un *Lexique des termes géographiques essentiels*. — Paris, Libr. Hachette, 1923. — 15 fr.

Voici un charmant volume, tout neuf dans sa conception admirablement éducative. Il est le pendant géographique de l'ouvrage de M. Brutails, *Pour comprendre les monuments de la France*, qui, lui, instruit la curiosité du voyageur intelligent sur les richesses archéologiques et artistiques du pays.

On ne pourrait mieux apprécier l'œuvre de M. Maurette qu'en lisant avec réflexion ce qu'il dit lui-même dans sa préface :

« Les paysages ont leurs styles, et combien variés ! Ici des montagnes aux pics aigus, dressant leurs crêtes dentelées sur le ciel ; là des croupes basses et arrondies ; ailleurs des plaines. Ici de larges vallées, là des vallées en fondrières. Ici des fleuves majestueux ; là des torrents. Ici des forêts ; là des landes ; ailleurs des prés, des champs, plus loin des marais et des tourbières. Ici la vie rurale, plus loin des usines. Autant de formes diverses, qui dessinent les traits harmonieux et variés de la face du pays.

» Or, dans les traits de cette face s'inscrivent des millénaires d'histoire géologique, des siècles d'histoire humaine. Ce sont ces millénaires et ces siècles qui *expliquent* la variété et la beauté de ces traits. L'esprit moderne, qui veut comprendre, va chercher l'explication dans la géographie. C'est la géographie qui, par l'histoire du sol (la géologie), explique son relief ; par le relief et par la nature du sol, le régime des eaux ; par la nature du sol et par le régime des eaux, la qualité de la végétation ; enfin, par tout cela, ces manifestations de notre vie qui sont les maisons, les villes, les usines, les canaux, les routes, les voies ferrées, les travaux d'art, tout ce *paysage humain* qui, dans les pays de vieille civilisation, se surajoute, en le modifiant, au *paysage naturel*. »

Espérons, qu'en attendant que pareil travail ait été fait

pour la Belgique, nous apprenions dans ce livre à voyager intelligemment en développant l'esprit d'observation.

Felix qui potuit rerum cognoscere causas.

G. Schmitz, S. J.

A summer in Greenland, par A. C. Seward, Master of Downing College and Professor of Botany in the University of Cambridge. — Un vol. de xiv-100 pages et XXIX pl. (20×14). — Cambridge, at the University Press, 1922. — 7 sh.

Qu'on ne s'attende pas à trouver dans ce petit volume le récit quelconque d'un simple voyage de vacances. Ce serait mal connaître l'auteur qui est un savant, un paléobotaniste de marque et aussi un humaniste de bon aloi. La lecture de cette centaine de pages est tout bonnement captivante.

Nous y apprendrons l'histoire du Groënland. Non seulement celle qui date de sa première colonisation, remontant à Eric le Rouge, vers le déclin du xe siècle, mais encore celle des âges géologiques où un climat plus doux permettait au tulipier, à l'arbre à pain, à des cycadées et à tant d'autres plantes d'y prospérer.

Tout en s'acquittant de sa mission, qui était d'enrichir les collections de son Université d'empreintes de la végétation fossile de ces hautes latitudes, M. Seward prend l'intelligent loisir d'étudier la population esquimaude, ses mœurs et son statut politique. Il nous fait admirer les beautés naturelles du pays, d'autant plus appréciables qu'elles n'ont qu'une brève saison pour répondre de toutes leurs énergies aux avances du soleil vivifiant.

Pour ceux qui croiraient que cette colonie danoise, couverte d'un long manteau de neiges, est en tout temps la « Terre de désolation », ils n'ont qu'à lire la description magique qui clôt ce livre. L'auteur lui trouve une splendide majesté inspirant à la fois de l'attirance et de l'effroi.

G. Schmitz, S. J.

Guide to the University Botanic garden, Cambridge, par Humphrey Gilbert Carter, Director of the Garden. — Un vol. de xvi-117 pages, XXIII pl. et un plan (20×13). — Cambridge, at the University Press, 1922. — 3 sh. 6.

Ce n'est pas un simple « guide » de son jardin que le savant directeur, M. Carter, met ici à la disposition du public, voire des spécialistes.

Nous y trouvons en raccourci — et illustrée d'excellente façon — une vraie botanique de l'Empire Britannique tout entier. L'immense extension de celui-ci en fait même, par la force des choses, une botanique mondiale.

La description des espèces est loin de n'être qu'une sèche taxonomie. L'auteur y fait preuve d'une érudition des plus étendues. Il ne se borne pas à signaler l'habitat actuel des plantes, il en donne la généalogie jusqu'aux temps géologiques. Souvent un détail historique, une particularité physiologique, voire un rapprochement d'intérêt biblique font de chacune de ses descriptions un exposé répondant aux curiosités les plus diverses.

C'est assez dire que cet opuscule précieux pour le botaniste, plein de charme pour tout ami de la nature, fait aussi naître le désir d'aller visiter ce merveilleux jardin botanique qui doit ressembler à un coin du paradis terrestre.

G. Schmitz, S. J.

XIII. — Le Mécanisme de l'hérédité Mendélienne, par Th. Morgan, A. H. Sturtevant, H. J. Muller, C. B. Bridges. — Traduit de l'anglais par Maurice Herlant. — Un vol. de xvii-391 pages (23 × 15). — Lamertin, Bruxelles, 1923.

L'étude expérimentale de l'hérédité s'est avancée à grands pas depuis quelque vingt ans dans la voie retrouvée du mendélisme ; ces progrès incessants nécessitent une continuelle mise au point. On doit notamment à l'école américaine de génétique, dont Morgan est le chef incontesté, une tentative très intéressante de synthèse des données cytologiques et des résultats numériques dans la transmission des caractères variétaux et des caractères mutants. Cette synthèse est étayée par un nombre considérable de travaux portant principalement sur le matériel de choix que s'est révélée être la mouche *Drosophila*. Ces travaux ne sont pas assez connus en Europe. Aussi faut-il se réjouir d'en trouver un exposé d'ensemble, fait par le maître et ses principaux collaborateurs,

traduit avec une exactitude élégante par le regretté Maurice Herlant, et luxueusement édité par la maison Lamertin.

Préférant les avantages de la clarté didactique aux détours d'une heuristique progressive, les auteurs exposent dès l'abord comment, d'après eux, les caractères héréditaires, qui se transmettent habituellement par groupes presque constants, sont répartis entre les différents chromosomes, et localisés sur ceux-ci en une enfilade dont ils donnent le schéma minimal. En fonction de ce schéma sont exposées ensuite les lois élémentaires du mendélisme et précisées les notions de caractères, de facteurs, de dominance, de récessivité, etc.

Le chapitre troisième traite le problème de la liaison des facteurs (*linkage*), et de l'enjambement (*crossing over*). Le mécanisme du *linkage* ne présente pas de difficulté pour qui admet le schéma donné au premier chapitre ; le *crossing over* est expliqué par l'échange des gènes (identifiés aux chromomères), entre les deux branches des gemini et même par la transposition réciproque de tronçons de chromosomes. Nous apprenons seulement ici que c'est la fréquence plus ou moins grande du *crossing over* qui a permis l'identification merveilleuse de la place occupée par chaque gène sur leurs chromosomes respectifs.

L'hérédité du sexe, qui fournit les arguments les plus indiscutables sur le rôle des chromosomes dans la détermination des caractères, est examinée avec soin et même, nous semble-t-il, avec une profusion exagérée de détails qui n'ont rien à voir avec le mendélisme.

Trois chapitres sont réservés à l'exposé plus approfondi des données cytologiques auxquelles maints emprunts ont déjà été faits. Nous avouons pour notre part que le point capital dans la théorie de Morgan, à savoir l'échange de portions de branches chromosomiques, est admis sur des données bien fragiles et à tout le moins fort discutées.

Ensuite les auteurs examinent les explications opposées à la leur et c'est spécialement contre la théorie présence-absence qu'ils dirigent leur argumentation ; ils admettent des allélomorphes positifs, véritables unités héréditaires indivisibles, qui ne peuvent être sujets à fluctuation ; ils ne cachent pas la parenté profonde de leur interprétation avec l'hypothèse de Weissmann.

Le chapitre sur l'hérédité chez les protistes aurait pu être omis avec avantage, car réellement il n'y a encore que trop peu de données sûres, qui dans ce domaine puissent se rattacher à l'hérédité mendélienne. La reproduction agame, qui est prépondérante, y échappe tout entière de droit, et la reproduction sexuée ne se prête guère à l'expérimentation.

Un dernier chapitre nous explique comment les mutations de l'Oenothera relèvent d'une interprétation mendélienne.

Cet ouvrage est plein d'intérêt, mais la pluralité des auteurs se fait un peu trop sentir par le manque de proportion des parties, et le trop grand nombre de redites. De plus, nous ne cacherons pas que sa valeur réside plus dans les faits expérimentaux qu'il relate, que dans la rigueur avec laquelle sont critiquées les théories admises.

R. D.

XIV.— Eugénique et Sélection, par E. Apert, L. Cuénot, le Major Darwin, F. Houssay, L. March, G. Papillaut, Ed. Perrier, Ch. Richet, G. Schreiber. — Un vol. in-8° de 248 pages, de la Bibliothèque générale des sciences sociales. — Paris, Alcan, 1922. — 15 fr.

Donner au public de langue française une idée de l'objet et de l'étendue de l'*Eugénique*, telle est, d'après l'Avertissement placé en tête de cet ouvrage, l'intention de ses auteurs.

Il réunit des études empruntées à neuf spécialistes.

Ce procédé, critiquable en bien d'autres matières, se trouve être ici exceptionnellement opportun. Il répond à l'état actuel de l'*Eugénique* qui, n'ayant pas fixé ses méthodes, n'est encore, selon le mot d'Edmond Perrier, qu'« une science d'intention ». Les eugénistes viennent des quatre coins de l'horizon scientifique. Ils envisagent, chacun de son point de vue, l'objet nouveau et complexe qui les sollicite ; ils explorent le terrain ; ils découvrent des perspectives ; ils lancent çà et là un coup de sonde ; ils recueillent quelques observations ; ils essayent des hypothèses.

Nous les voyons ici à l'œuvre et nous constatons, sur les résultats fragmentaires de leur activité, la variété de leurs préoccupations et la diversité de leurs tendances.

Edmond Perrier, le regretté président de la *Société française d'Eugénique*, examine les rapports de l'*Eugénique* et de la *Biologie*. Il a des vues intéressantes sur la sélection, sur l'idée de progrès ou de perfectionnement, sur la division des fonctions organiques et sur la possibilité de maintenir la répartition des sexes dans un rapport déterminé.

Une étude de Frédéric Houssay, ancien doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, relate des expériences faites par lui sur la dégénérescence de races de poules soumises à la suralimentation carnée et qui s'éteignaient complètement à la sixième génération. Chemin faisant, il formule très heureusement le programme de la *Société française d'Eugénique*.

L'article de M. le professeur Charles Richet, sur la *Sélection humaine*, est le seul dont nous ne puissions dire du bien.

« Les principes que je défends, écrit l'auteur, paraîtront révolutionnaires et insensés. » En effet. « Depuis longtemps, ajoute-t-il, j'ai appris à ne pas tenir compte des critiques qui ne sont appuyées que sur des sarcasmes aussi vulgaires que surannés ». Tout le factum est de ce style et de cette humeur. Oublieux des mille aspects du problème que l'Eugénique doit résoudre et des mille exigences auxquelles les solutions proposées doivent satisfaire, M. Richet prône la sélection par les moyens les plus radicaux, y compris la stérilisation. Le plus piquant est que, pour avoir suivi en cela les eugénistes américains, M. Richet se croit des titres à l'immortalité. Un temps viendra, dans quelque trois ou quatre cents ans, conclut-il avec solennité, où l'homme songera enfin à la sélection humaine. « Un érudit de cette lointaine époque, fouillant dans les archives poudreuses des bibliothèques, constatera peut-être qu'un penseur obscur, il y a quatre cents ans, y avait songé comme à la plus belle des chimères, et qu'il avait dit avec conviction : *C'est la sélection humaine qui sera l'unique souci et le grand effort des générations futures* » (1).

Quand M. Richet prétend qu'on ne lui oppose que des sarcasmes vulgaires et surannés, il se flatte. Pour se détromper, — si toutefois quelque chose pouvait détromper un

(1) Souligné dans le texte. p. 57.

homme aussi convaincu, — il lui suffirait de lire les articles réunis avec le sien, et déparés par lui, dans le présent recueil. Il y trouverait des idées saines, des observations précises, des analyses serrées, de la critique, du tact, de la mesure, de la souplesse, toutes choses dont le défaut chez lui explique, sans qu'il soit nécessaire de recourir au sarcasme vulgaire et suranné, l'outrance de sa thèse et la violence de ses propos.

M. le Dr Apert donne, sous le titre *Eugénique et Santé nationale*, un exposé concis, nuancé et bien documenté des suites de la guerre pour la santé de la population française.

M. Lucien March, l'éminent Directeur du *Service de la Statistique de France*, traite, dans une longue et consciencieuse étude, le délicat problème de la *Natalité* dans ses rapports avec l'*Eugénique*. Sans perdre de vue l'aspect moral de cette question, il apporte de très intéressantes statistiques sur la natalité suivant les professions, suivant les revenus et suivant les régions. Il ramène à ses justes proportions l'espoir qu'on peut fonder, pour le maintien de la population, sur le recul de la mortalité. Il signale la diminution des ressources imposée aux pères de famille nombreuse par la législation sociale. Enfin il émet, sur la théorie de Malthus, de très judicieuses observations.

M. le Dr Papillaut analyse *Les conséquences psycho-sociales de la dernière guerre au point de vue eugénique* et exprime, en passant, des idées dont l'originalité ne va pas toujours sans une pointe de paradoxe.

Dans son travail sur l'*Eugénique et le Mariage*, M. le Dr Schreiber insiste sur l'imprécision et l'incertitude des connaissances actuelles touchant l'hérédité du cancer, de la tuberculose, de la syphilis, de l'aliénation mentale, de l'alcoolisme et des maladies familiales. Il voit dans l'augmentation du nombre des mariages en 1919 un signe de la réaction des peuples décimés contre la destruction dont ils sont menacés (1). Ce phénomène ne trouverait-il pas une explication plus claire et plus satisfaisante dans le retard imposé par la guerre à beaucoup de mariages, qui se célébrèrent en masse quand soldats et exilés

(1) Pp. 165 et 167.

rentrèrent au foyer. Parlant de l'armée qui enrégimente les hommes valides et refuse les services des débiles, l'auteur trouve « singulier qu'on choisisse les plus beaux hommes pour les envoyer à une mort éventuelle et non pour propager la vie ». Étrange étonnement ! Ne serait-il pas plus singulier encore que l'armée choisît des hommes malingres ou rachitiques pour leur faire exécuter des marches forcées avec une charge de trente-cinq kilos sur les épaules ?

La conférence du Major Darwin sur l'*Eugénique pratique* a été insérée dans le recueil « en témoignage des liens qui unissent la *Société française d'Eugénique* à la société anglaise que préside le Major Darwin ». Elle résume les idées et le programme de cette société.

Enfin, M. le Dr Cuénot, dans une savante communication intitulée *Génétique et Adaptation*, critique les expériences relatives à la transmissibilité des caractères acquis et discute la faculté d'adaptation des organismes.

L'ouvrage, dans son ensemble, est d'un grand intérêt et répond parfaitement à son but.

VAL. FALLON, S. J.,
Membre de la Société belge d'Eugénique.

XV. — LES ORIGINES DU MONDE, DE L'ÉNERGIE, DE LA VIE, DES ESPÈCES, DE L'HOMME, par J. GUIBERT et L. CHINCHOLE. — Un vol. de 640 pages. 7e édition entièrement refondue et ornée de nombreuses figures. — Paris, Letouzey, 1923.

Réédition parfaitement mise au point de l'ouvrage bien connu du regretté M. Guibert. L'apologétique n'y est pas cultivée aux dépens de l'information impartiale. Près de deux cents pages sont consacrées à la préhistoire. On jugera par ce seul détail des progrès que cette science a réalisés depuis vingt ans.

Sur la question de l'évolution, l'auteur est prudent, mais suffisamment clair pour ceux qui ne refusent pas de comprendre. On nous dit que les savants catholiques partisans d'une évolution « dégagée du matérialisme » deviennent chaque jour plus nombreux (p. 300) et que la Commission Biblique, dans sa réponse du 30 juin 1909, a « laissé libre cette

question de l'évolution » (p. 305). On cite les noms de savants notoires : les deux Bouyssonie, l'abbé Breuil, le P. Teilhard de Chardin, le chanoine Grégoire, le professeur A. Salée, le P. de Sinéty, le professeur Périer, le chanoine de Dorlodot, etc.... Cette liste aurait pu s'allonger facilement si l'auteur avait consulté les savants étrangers. Malheureusement, dans tout le volume la bibliographie citée et utilisée est exclusivement française. Pas un travail anglais, allemand ou italien ! C'est une lacune regrettable, et qui pourrait donner à l'ensemble de cet excellent manuel l'aspect d'un ouvrage de seconde et même de troisième main. Il existe p. ex. en cytologie d'autres sources d'information que le livre du Dr Maumus, publié par la Bonne Presse. L'Université de Louvain serait en droit de le rappeler.

Une réédition s'imposera à bref délai, puisque nous apprenons avec joie que plus de mille exemplaires ont été vendus en France en deux mois. Une traduction anglaise et une traduction espagnole sont en préparation. Si l'auteur a le loisir de consulter les mémoires originaux, il corrigera quelques détails.

Les bisons du Tuc d'Audoubert ne sont pas modelés « en grandeur naturelle » (p. 551). Ils ont respectivement 61 et 63 centimètres de longueur.

Aucune des sépultures des Baoussé-Roussé n'est moustérienne (p. 528). L'os était certainement travaillé dès avant l'Aurignacien (p. 524) Les Moustériens du Périgord ne sont pas si semblables aux Tchouktches qu'on le suppose (p. 534). Personne ne peut prouver p. ex. qu'ils aient connu l'arc.

Les palafittes si intéressantes de la Save, celle de Dolia Dolina entre autres, ne sont pas mentionnées. Elles ont cependant livré un mobilier beaucoup plus important que celles de Suisse. Une des pirogues monoxyles de Dolia Dolina mesure plus de 12 mètres de long et elle est parfaitement conservée au Musée de Sarajevo.

Enfin on souhaiterait avoir une preuve de l'efficacité du piège à singes mentionné p. 377, note 1. Cette histoire est répétée de livre en livre ; mais elle est si extraordinaire et si peu en harmonie avec ce que nous savons de l'éthologie animale, qu'on est en droit d'exiger des témoignages irré-

cusables. J'ai cherché plusieurs fois à identifier la source de ce racontar de voyageur ; mais je n'ai rien trouvé.

Est-il nécessaire de formuler des principes aussi incontestables que celui-ci (p. 508) : « On peut se fier au témoignage humain s'il est digne de confiance » ? Ceci nous rappelle un peu ces thèses de philosophie où on prouve que les sens sont infaillibles pourvu que toutes les causes d'erreur soient écartées.

Ces quelques légères imperfections n'enlèvent rien à la grande valeur du travail de M. Chinchole. Nous ne les avons signalées que pour obtenir une réédition plus satisfaisante encore de ce beau livre dont la science catholique a le droit d'être fière.

PIERRE CHARLES.

LES INSTITUTIONS DES PRIMITIFS AUSTRALIENS, par NADINE IVANITZKY. — Un vol. de 110 pages. Extraits de la « Revue de l'Institut de Sociologie ». — Bruxelles, Lamertin, 1922.

L'auteur est une Russe qui obtint en 1908 à l'Université de Bruxelles le grade de docteur en sciences sociales et qui mourut à Londres en 1918, avant d'avoir pu terminer le travail qu'on nous présente aujourd'hui.

On a rendu un service très contestable à la mémoire de N. Ivanitzky en publiant ces pages, mal écrites et fort insuffisamment documentées.

Conçoit-on que dans une monographie sur les primitifs australiens on n'utilise ni Graebner, qui s'est occupé tout spécialement des institutions sociales de ces peuplades, ni Wheeler, ni Malinowski, ni Thomas, ni J. Fraser, ni Eylmann, ni Browne, ni Curr, ni Strehlow, ni Beveridge, ni Dawson et qu'on se contente de critiquer Spencer et Gillen, Howitt et Mathews comme si seuls ces auteurs s'étaient occupés des Australiens ?

PIERRE CHARLES.

XVI. — LA MÉCANIQUE PSYCHIQUE, par W. J. CRAWFORD, Docteur ès sciences, Professeur de Mécanique appliquée à l'Université de Belfast. Traduit de l'anglais par RENÉ SUDRE.

— Un vol. in-16 de 218 pages et 12 figures. — Paris, Payot, 1923. — 7,50 fr.

La fin tragique du Prof. Crawford — il se suicida le 30 juillet 1920 — a jeté une ombre fâcheuse sur les recherches de métapsychique qu'il poursuivait, depuis six ans, avec la collaboration d'une famille spécialement douée à cet effet, et connue généralement sous le nom de « cercle Goligner ».

Cette ombre de défiance s'épaissit encore à la suite du rapport défavorable que publia, en 1922, le Dr Fournier d'Albe, chargé par l'exécuteur testamentaire du défunt de poursuivre les expériences commencées. Il remarqua, en effet, ou crut remarquer, de la fraude chez les médiums qui avaient la confiance de son prédécesseur. A vrai dire, d'autres métapsychistes — hommes de science ou médecins — protestèrent vivement contre les conclusions sceptiques du Dr Fournier d'Albe. Quoi qu'il en soit au fond, ces divergences de vues ont compromis — pour un temps du moins — le crédit dont commençaient à jouir les démonstrations « scientifiques » de Crawford.

Ce dernier n'avait rien d'un expérimentateur de fantaisie, comme il s'en rencontre tant dans les milieux spirites. Enseignant la Mécanique à l'Université de Belfast, il apportait dans l'étude des phénomènes surnormaux, le réalisme robuste et l'imagination spécialisée d'un technicien. Les phénomènes trop « intellectuels » : transmission de pensée, clairvoyance, prémonition, etc., ne l'intéressent guère, parce qu'il les juge trop peu saisissables. Ce qu'il lui faut, ce sont de bons phénomènes matériels, mécaniques, tangibles, et surtout enregistrables.

On comprend, après cela, le titre donné au présent recueil : « La Mécanique psychique » — c'est-à-dire : Les effets mécaniques produits par les forces dites « psychiques » (ou « métapsychiques »). Ces forces, l'auteur s'ingénie à les constater et à les mesurer par leurs effets, sans prétendre définir leur nature. Tout au plus, dans une préface, avoue-t-il sa préférence personnelle pour l'hypothèse spirite. « Je ne m'occupe, écrit-il, que des méthodes par lesquelles les phénomènes sont produits, et il m'importe peu que les opérateurs

(c'est-à-dire les agents immédiats de ces manifestations) soient ce qu'ils disent être (des esprits désincarnés) ou bien des éléments déguisés du subconscient du médium ».

Aussi bien la majeure partie du livre relate seulement des expériences de déplacement à distance (télékinésie). Les phénomènes ne diffèrent pas essentiellement de ceux qui furent souvent décrits par d'autres chercheurs. L'originalité de Crawford réside dans la multiplication des moyens directs et indirects de contrôle, dans la précision des mesures effectuées (pesées et enregistrements variés) et dans l'analyse des divers moments dynamiques qui semblent en jeu au cours des lévitations de tables. Cette étude dynamique le conduit à sa théorie des « leviers psychiques », qu'il croit de nature « ectoplasmique »... et qu'il parvient même (ce résultat n'est-il pas trop beau ?) non seulement à peser, à palper, mais à photographier (voir figures 5, 11, 12).

L'expérimentateur note en passant quelques autres étrangetés « physiques » : empreintes à distance (imprimées, croit-il, par des tiges ectoplasmiques), bruits et voix enregistrés au phonographe, etc.

Si détaillés et si précis que soient les procès-verbaux d'expériences reproduits dans ce volume, le lecteur — à distance — sera bien empêché d'en faire la critique et se contentera, s'il est sage, de poser en son esprit de multiples points d'interrogation.

J. Maréchal, S. J.

La Connaissance supra-normale. Étude expérimentale, par le Dr Eugène Osty. — Un volume in-8° de 388 pages. Bibliothèque de philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1923.

Le livre du Dr Osty ne peut être confondu avec ces vagues compilations de faits « métapsychiques » incontrôlables, dont les garants immédiats, souvent anonymes et éparpillés aux quatre coins du monde, demeurent presque fatalement hors de la portée du lecteur, lorsqu'ils ne furent pas inconnus du narrateur lui-même. Ici, sauf dans une Introduction où il trace quelques cadres descriptifs, l'auteur ne parle que d'expériences auxquelles il a présidé, ou du moins participé,

en personne. Le plus souvent il a non seulement observé, mais expérimenté, contrôlé, critiqué, analysé ; même il invite ses lecteurs à faire de leur côté la contre-épreuve, les sujets clairvoyants dont il s'est servi n'ayant point perdu leurs facultés extraordinaires et n'étant d'ailleurs pas les seuls à jouir de l'« extralucidité ».

C'est une chose bien étrange que cette connaissance supranormale, la « métagnomie », puisqu'il faut l'appeler par son nom. Quoique liée à la subconscience psychologique, elle s'en différencie nettement, puisqu'elle en dépasse de beaucoup la pénétration et l'étendue. Un « sujet métagnome » (*sit venia verbo :* nous laissons la responsabilité du vocable au Dr Osty) qui réunirait en soi toutes les variétés de lucidité transcendantale réparties entre les « sujets » réellement observés jusqu'ici, serait tout simplement effarant. Lisons cette description synthétique : « Son corps serait pénétrable à sa conscience jusque dans l'intimité de ses tissus et dans les vicissitudes de son devenir. — A tout moment, la succession des événements, constituant la trame de sa vie individuelle, en amont comme en aval, du point présent, serait susceptible de se représenter dans sa pensée à l'ordinaire manière des souvenirs. — Sa naissance et sa mort, non plus que le champ de sa perception sensorielle, directe ou indirecte, n'encloraient pas son ambiance (perceptible) dans le temps et dans l'espace. — Il saurait une partie du contenu du sol sur lequel il marcherait : ses nappes et ses courants d'eau, ses gisements de houille, de métaux, ses cavités, etc. — Les êtres humains rencontrés lui livreraient, par leur seule présence, leurs pensées du moment, le secret de leur personnalité intellectuelle, morale, organique, celui de leur vie de relation et la connaissance de leur ambiance, êtres et choses. — Suivant les circonstances, il se relierait dans l'espace à des personnes connues de lui ou inconnues, et prendrait, à quelque degré, connaissance de leurs personnalités et de leurs vies. Il serait informé et informerait des détails d'une scène s'effectuant à une grande distance. — Employant son étrange pouvoir psychique dans ce que nous appelons le temps, il remonterait la coulée des générations humaines, s'arrêtant à telle époque, à tel être, à telle scène du passé... Il saurait les virtualités que l'avenir réalisera » (pp. 263-264).

Très sagement l'auteur renonce à embrasser cet ensemble (qui pourrait bien, d'ailleurs, n'être point homogène du tout). « Dans l'état actuel de notre savoir, écrit-il, n'ayant aucun enseignement à espérer d'une vue d'ensemble, je limiterai mon investigation sur l'origine de la connaissance supranormale à la seule condition d'un sujet métagnome opérant *sur la personnalité humaine* », c'est-à-dire d'un sujet lucide, pressentant, par des moyens d'information étrangers à la psychologie commune, des particularités physiques et morales, ou bien des circonstances quelconques, passées, présentes et futures, intéressant des personnes avec lesquelles il est mis directement ou indirectement en rapport.

Le Dr Osty, indépendamment de toute théorie métaphysique et, plus encore, de tout préjugé spirite, étudie spécialement quelques conditions observables de cette lucidité déroutante : par exemple la nature du lien occasionnel, requis, pour la clairvoyance, entre le « voyant » et la personnalité-objet ; la traduction que subit, dans le subconscient normal et dans la conscience claire du « percipient », le contenu des intuitions surnormales ; l'interprétation ultérieure des données « transcendantales » ainsi transposées ; l'intrusion fréquente du processus appelé « lecture de pensée », venant interférer avec la métagnomie proprement dite ; les erreurs qui résultent de là et qui peuvent masquer les faits purs de métagnomie.

Il faut le reconnaître : les phénomènes de prémonition et de précognition observés par l'auteur sont impressionnants par le nombre des coïncidences vérifiées : en ce point, qui est de loin le plus difficile, une extrême réserve s'impose jusqu'à preuve décisive ; les éléments fournis ne permettent pas encore, nous semble-t-il, de se faire une opinion sur la vraie nature des faits rapportés. D'ailleurs, le Dr Osty avertit qu'il ne prétend les narrer qu'à titre d'exemples, non de preuves ; une preuve stricte, si elle est possible, exigerait une abondance de détails incompatible avec les dimensions restreintes d'un livre.

Si l'auteur, quelles que soient ses convictions, a voulu surtout attirer l'attention sur un problème qui s'imposera à la psychologie de demain, il a, croyons-nous, atteint son but. Avec cela, il importerait peu que la « métagnomie » dût,

tout compte fait, se réduire, un jour, à des proportions plus modestes que l'on n'avait cru de prime abord : ce qui en resterait serait déjà bien curieux, en toute hypothèse.

J. MARÉCHAL, S. J.

LA SUBCONCIENCIA, par le Dr D. RAFAEL DEL VALLE Y ALDABALDE. — Une brochure, grand in-8°, de 105 pages. — Madrid, Nieto y Co, 1923.

Le Dr Valle y Aldabalde, un des publicistes médicaux les plus distingués de l'Espagne — et un ami de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES — prononça récemment, lors de sa réception à l'Académie royale de médecine de Madrid, un discours fort intéressant, d'inspiration élevée et de riche information, sur le thème si délicat de la subconscience. Cette étude, jointe à la réponse qu'y fit, au nom de l'Académie, le Dr Ricardo Pérez-Valdès y Aguirre, remplissent la présente brochure. Il n'est guère d'aspects de la subconscience qui échappent à ce double aperçu. Et encore que le genre « académique » ne comporte pas les notations détaillées d'un procès-verbal de recherches, la nécessité de draper leur érudition médicale en un discours sobrement orné n'aura pas empêché le Dr del Valle et son collègue d'apporter une contribution solide au progrès des sciences médico-psychologiques, en éclairant d'une lumière précise certains concepts fondamentaux et en repérant les connexions multiples qui relient les phénomènes dits « subconscients » à d'autres groupes de réalités.

J. MARÉCHAL, S. J.

DÉFENSE ORGANIQUE ET CENTRES NERVEUX, par le Dr PIERRE BONNIER. — Un volume, in-16, de XXIII-284 pages. 2e édition. Nouvelle collection scientifique. — Paris, Alcan, 1923.

Ce livre est une réédition posthume d'un ouvrage paru sous le même titre en 1914. Mme la Doctoresse Pierre Bonnier y joint une Préface résumant et situant les vues générales de ce penseur indépendant et hardi que fut le regretté praticien.

La thérapeutique préconisée par lui est fondée sur des intuitions de l'esprit — peut-être un peu vastes pour inspirer une confiance absolue — et en même temps sur un contrôle expérimental trop souvent heureux pour ne pas contraindre de reconnaître une part de vérité (laquelle exactement ?) dans les hypothèses initiales.

L'idée centrale du Dr Bonnier était que l'unité de l'organisme, et donc le bien-être actuel ou le malaise de ses parties (sauf, évidemment, le cas de malformations anatomiques locales), repose en dernière analyse sur une régulation fonctionnelle *nerveuse*, et que, chez l'homme, cette fonction régulatrice est centralisée dans le *bulbe*. Un grand nombre de maladies, même celles dont les antécédents immédiats sont d'ordre chimique, dépendraient essentiellement d'une inertie ou d'un dérèglement des centres bulbaires. Agir sur ces derniers, c'est atteindre virtuellement non seulement les fonctions végétatives générales, mais, en vertu des interconnexions nerveuses, les troubles les plus divers des organes particuliers.

Comment agir sur le bulbe ? Les travaux de Fleiss et de quelques autres signalèrent à l'attention de Pierre Bonnier cette voie d'accès privilégiée que serait la muqueuse des fosses nasales, tapissée par une branche du nerf trijumeau, dont les racines intra-bulbaires s'échelonnent au voisinage immédiat des centres régulateurs les plus importants du corps humain. En fait, une excitation périphérique modérée du trijumeau à la muqueuse nasale (par exemple, un attouchement léger au thermo-cautère) peut restaurer, parfois instantanément, l'activité régulatrice des centres correspondants, et provoquer ainsi, à peu de frais vraiment, les cures les plus étonnantes.

Le Dr Bonnier, dans ce volume, expose et justifie cette « centrothérapie », comme il l'appelle. Et il y annexe, en rôle subordonné, tous les traitements bio-chimiques groupés autour de la très moderne « colloïdoclasie ».

La conception « centrothérapique », peu en faveur jusqu'ici, dominera-t-elle dans l'avenir ? Il faudrait, pour cela, que la « régulation nerveuse » spécialisée jouît, en effet, dans les organismes supérieurs, d'un monopole absolu de direction sur les autres fonctions vitales : ce qui semble biolo-

giquement inexact. La centrothérapie pourra donc se montrer efficace dans certaines limites, et c'est déjà beaucoup ; mais de là à la panacée rêvée, il y a loin encore.

J. M.

XVII. — L'ÉTUDE COMPARÉE DES RELIGIONS. Essai critique, par H. PINARD DE LA BOULAYE, S. J. Tome I. — Un volume, grand in-8°, de XVI-515 pages. Paris, Beauchesne, 1922. — 36 fr.

L'Histoire des religions ne rentre dans l'objet de cette REVUE que par quelques disciplines annexes. Nous ne pourrons donc consacrer à l'œuvre remarquable et opportune du R. P. Pinard le compte rendu détaillé qu'elle recevrait dans un recueil plus spécial. Nos lecteurs, toutefois, nous sauront gré de la leur signaler ; car il n'est guère aujourd'hui d'homme cultivé, s'intéressant aux questions religieuses, ou simplement au développement « culturel » de l'humanité, qui n'ait désiré rencontrer, sur ce terrain coupé de fondrières, un guide sûr, capable de l'orienter dans le dédale des systèmes et de l'aider à mettre au point quelques principes fondamentaux de méthode. Ce guide sera particulièrement bien accueilli par les savants catholiques, que les études les plus diverses — théologie, apologétique, ethnographie, linguistique, psychologie même, etc. — amènent si souvent au voisinage d'une Science des Religions mal exorcisée encore : celle-ci en effet, bien qu'elle ait cessé d'être un épouvantail pour des croyants trop timides, et d'ailleurs n'offre rien de troublant dans ses parties sincèrement descriptives, ne laisse pas, néanmoins, de poser des problèmes parfois délicats, au double point de vue des *méthodes* mises en œuvre et des *théories* plus ou moins aventurées qui en découlent. A tous les « outsiders » attirés par l'Histoire des Religions, non moins qu'aux fervents qui s'y vouent en spécialistes, le livre du R. P. Pinard apparaîtra secourable : ils y trouveront, appuyée d'une bibliographie imposante et bien triée, une introduction claire, consciencieuse et extrêmement érudite aux systèmes et aux procédés que présenta cette science polymorphe, depuis l'antiquité jusques hier. Si la période moderne et contemporaine reçoit, comme il convient, la part du lion,

les périodes patristique et médiévale, trop négligées par d'autres auteurs, sont traitées avec ampleur et particulière compétence.

Le premier volume, que nous avons sous les yeux, fait plus spécialement l'historique des études comparatives du fait religieux. Le tome second sera consacré à la critique des méthodes.

L'auteur n'a vraiment pas à s'excuser, comme il croit devoir le faire dans sa Préface, d'avoir sacrifié l'agrément à l'utilité : ces grandes pages compactes, avec leur soubassement continu de notes, ne sont point illisibles, pour n'être pas de la littérature légère. Remplissant excellemment leur fonction austère d'information et de critique, elles auront, aux yeux des plus exigeants, la haute valeur d'un instrument de travail solide et précis, sans équivalent actuel en langue française.

J. Maréchal, S. J.

XVIII. — Où va le monde ? par Walther Rathenau. Considérations philosophiques sur l'organisation de demain. Traduction française et Avant-Propos de S. Jankélévitch. — Payot, Paris, 1922.

Walther Rathenau, Président de l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*, créateur du *Département des matières premières* et des *Sociétés d'achats* de guerre, organisateur du pillage méthodique des régions envahies, est aussi un homme d'État, un philosophe et un sociologue. Il n'a pas attendu la guerre pour faire la critique du régime économique existant et soumettre à ses concitoyens des projets de réorganisation sociale. Mais ce sont les grands événements de la guerre mondiale qui l'ont déterminé à multiplier ses avertissements à la nation allemande et ont fait de lui comme le prophète des temps nouveaux. L'ouvrage que nous analysons constitue le noyau central de l'œuvre de Rathenau. On ne le comprend bien que si l'on a pris connaissance de ses travaux antérieurs. Il est regrettable toutefois que l'œuvre passablement abstruse de l'écrivain allemand ait été traduite en français par un Slave : elle n'a pas gagné en clarté. Les fragments qu'en a traduits Gaston Raphaël dans son étude sur *Walther*

Rathenau, ses idées et ses projets d'organisation économique (Payot, Paris, 1919) sont d'une lecture autrement attrayante.

C'est à la mécanisation universelle que Rathenau attribue tout le mal social. « La mécanisation est une organisation matérielle ; créée par la volonté matérielle et à l'aide de moyens matériels, elle oriente l'activité terrestre des hommes dans une direction d'où toute spiritualité est absente. Personne ne peut se soustraire entièrement à l'action de cette force de direction et, au point de vue mécaniste, l'homme même le plus idéaliste reste un sujet économique qui, pour vivre, doit posséder et acquérir. Le monde est devenu une maison de commerce, une intendance, et chacun porte l'empreinte et la nuance de son époque. On imagine l'influence qu'ont dû exercer des siècles de contrainte intellectuelle sur l'esprit humain comprimé ! »

Source de forces constructives dans l'ordre matériel, la mécanisation contient tout autant d'agents de décomposition sociale : elle étouffe toute spiritualité, est attentatoire à la liberté et à la dignité humaine, engendre partout la lutte et la haine.

Il importe de jeter bas une contrainte qui a trop longtemps pesé sur l'humanité. Pour accomplir cette œuvre de rédemption il faut, « en confiant à l'âme la direction de la vie et en spiritualisant l'organisation mécanique, transformer le jeu aveugle des forces en un cosmos libre, conscient et digne de l'homme auquel il sert d'abri ». L'irrémédiable stérilité du socialisme s'explique par le fait qu'il n'a pas envisagé cette transfiguration de la mécanisation et qu'il s'est borné à vouloir la mettre telle quelle au service des classes inférieures. Il pourra peut-être retourner de fond en comble l'ordre social actuel ; il ne réussira pas à bannir les causes profondes du mal qui ronge les sociétés. Le but que Rathenau assigne à l'œuvre de la régénération sociale est autrement radical : aider le monde à s'évader de l'utilitarisme, affranchir l'intelligence des préoccupations matérialistes qui l'absorbent, travailler à la croissance de l'âme et à sa pleine liberté.

Trois chemins conduiront les sociétés au terme entrevu : celui de l'économie, celui de la morale et celui de la volonté. En termes plus clairs : la réforme exige une rénovation à la fois économique, morale et politique.

Faire la critique du régime économique moderne, c'est souligner le contraste violent qui existe entre la solidarité étroite et inéluctable qui enchaîne tous les membres de la société et le principe de la libre concurrence qui domine toute leur activité. Après avoir dénoncé dans tous les domaines économiques de la consommation, de la possession et de la revendication, les étranges antinomies que l'individualisme y a semées, Rathenau conclut à la nécessité d'une socialisation dont il résume ainsi les principaux postulats :

« 1. Le rendement total du travail humain est limité à chaque instant. La consommation, comme l'économie en général, est une affaire, non privée, mais collective. Le luxe et l'isolement doivent être subordonnés à la volonté générale et tolérés seulement dans la mesure où il s'agit de la satisfaction d'un besoin immédiat et véritable. — 2. L'égalisation de la possession et du revenu est une exigence de la morale et de l'économie. Dans l'État il ne doit y avoir qu'un propriétaire démesurément riche : l'État lui-même. Il doit posséder les moyens nécessaires pour pouvoir supprimer toute misère. On peut admettre une certaine diversité des revenus et des fortunes, mais cette diversité ne doit pas impliquer une répartition de la puissance et des droits de jouissance telle que les uns possèdent tout et les autres rien. — 3. Les sources actuelles de la richesse sont les monopoles au sens large du mot, la spéculation et l'héritage. Dans l'organisation économique de l'avenir, il n'y aura place ni pour les détenteurs de monopoles, ni pour les spéculateurs, ni pour les gros héritiers. — 4. La limitation du droit de succession, l'égalisation et l'élévation du niveau de l'éducation populaire supprimeront les différences entre les classes économiques et mettront fin à l'asservissement héréditaire des classes inférieures. A cet effet contribuera encore la limitation de la consommation somptuaire, limitation qui orientera le travail mondial vers la production de biens nécessaires et réduira la valeur de ces biens à une proportion plus juste avec la somme de travail qu'ils représentent. »

La rénovation morale visera à établir la prédominance de l'âme sur l'intellect. Passant sur la psychologie obscure du directeur de l'A. E. G., disons en termes plus simples que le cœur doit prendre le pas sur la froide raison utilitariste.

Le monde économique a vu se déformer et se dégrader l'échelle des valeurs morales : le succès justifie tout désormais, l'utilitarisme envahit tous les domaines économiques, politiques, artistiques et religieux. Il est grand temps de supprimer les indignes compromissions entre le vice et la vertu, auxquelles nous entraînent la soif de jouissance et de puissance, l'ignorance des hommes et la méconnaissance des vraies valeurs. C'est dans le renoncement et le travail créateur que les hommes doivent chercher la joie ; c'est aux seules individualités qui en peuvent assumer toute la responsabilité qu'ira le pouvoir ; les hommes seront appréciés pour leur mérite réel et non plus pour leur richesse ou l'éclat de leur nom.

La régénération sociale ne s'accomplira que sous les auspices d'un État vraiment populaire ou national ; elle réclame donc une rénovation politique rompant avec toutes les traditions de l'Allemagne contemporaine. C'est ici pour l'auteur l'occasion de faire le procès de l'esprit politique de ses concitoyens. Dès 1917 Rathenau, sans désespérer encore de la victoire, écrivait : « Je ne crois pas à notre droit, ni au droit de qui que ce soit de régenter définitivement le monde, car ni nous, ni aucun autre peuple n'avons mérité ce droit. Aucun titre ne nous autorise à régler les destinées du monde, car nous n'avons pas encore appris à régler les nôtres. Nous n'avons pas le droit d'imposer aux nations civilisées de la terre nos pensées et nos sentiments, car, quelles que soient les faiblesses des autres nations, il est au moins une chose qui nous manque encore, à nous : l'acceptation voulue de notre propre responsabilité. » Culte inintelligent de la tradition qui se mue en routine ignorante et bornée, servilité innée de la grande masse des sujets allemands, impérialisme et nationalisme des classes supérieures et dirigeantes : tels sont les traits dominants du caractère national qu'il importe de combattre par l'éducation bien plus que par les réformes constitutionnelles qui restent lettre morte tant que l'esprit du peuple n'aura pas été refait. « La revendication qui s'élève est celle d'un État populaire. L'État populaire suppose la participation de tous les groupes du peuple ; il englobe les organisations dans lesquelles se reflète l'originalité du peuple ; il sait utiliser

toutes les intelligences, en imposant à chacun la tâche qui lui convient. Comme dans une maison gouvernée d'après de sains principes, le travail, l'autorité, les rapports réciproques des membres, la responsabilité, le sentiment de solidarité, la confiance — tous ces facteurs, bien qu'ayant chacun sa sphère d'action propre, sont réunis dans une synthèse harmonieuse. L'État populaire ne ressemble ni à une usine se composant de propriétaires qui encaissent des revenus, d'employés qui administrent et d'ouvriers qui travaillent, ni à une colonie où, sous la protection d'une force armée, un groupe d'hommes libres règne sur une masse d'ilotes. »

D'où vient à Rathenau l'immense succès qui a accueilli ses divers ouvrages et qui a fait de lui aux yeux de quelques critiques le prophète et l'évangéliste de l'ère nouvelle qui s'ouvre pour l'Allemagne républicaine ? A vrai dire, il nous est difficile de l'attribuer aux mérites intrinsèques du message que Rathenau adresse à ses compatriotes. L'œuvre est intéressante, sans doute ; elle est d'une facture vigoureuse ; mais elle ne brille pas par l'originalité de la pensée. En dehors d'une philosophie alambiquée et imprécise dont nous ne lui contesterons pas la paternité, ses critiques, ses principes et ses projets pratiques de réforme laissent l'impression de choses déjà entendues. A l'envi, d'autres ont, bien avant Rathenau, dénoncé les contradictions et les absurdités de notre régime économique moderne, l'immense gaspillage de forces et de capitaux, la *misdirection* de la consommation, l'abus que la ploutocratie fait trop souvent de sa toute-puissance ; il y a beau temps que les philosophes allemands ont souligné le caractère organique de la société au point d'en faire une individualité supérieure à l'homme, réduit à l'état de cellule sociale ; les projets de socialisation de l'activité économique dégagent un fort relent de Saint-Simonisme. Si les œuvres de Rathenau ont obtenu un tel retentissement dans sa patrie, nous en voyons plutôt la cause dans la forte personnalité et la situation de l'auteur : il est peu banal d'entendre un grand financier, le capitaine d'une des plus puissantes organisations industrielles de son pays, faire, avec tant de force, le procès du régime capitaliste ; dans l'opportunité de ces paroles prononcées à l'heure où la nation dégrisée et meurtrie cherche sa voie au sortir

d'une guerre qui a détruit l'ancienne armature impériale ; enfin et surtout dans l'incontestable sincérité qui constitue, à notre sens, le principal mérite de l'œuvre de Rathenau.

A. M.

XIX. — L'EXPÉRIENCE HUMAINE ET LA CAUSALITÉ PHYSIQUE, par L. BRUNSCHVICG. Un vol. de XVI-625 pages (22 × 14). — Paris, Alcan, 1922. — 30 francs.

Dans ce livre, suite nécessaire et complément longtemps attendu des « Étapes de la philosophie mathématique », M. Br. se propose d'examiner les rapports qui relient la causalité physique et l'expérience humaine. Et comme ce concept de causalité est en définitive le fondement même de toute science empirique, on peut dire que le but atteint ou visé dépasse le titre, et que c'est une critique de la philosophie de la science que l'auteur entreprend.

La méthode est historico-critique. M. Br. ne suppose donc rien. Il ne partira pas, comme les empiristes, de l'expérience pure. Celle-ci est contradictoire : on l'a prouvé depuis longtemps. Il ne s'inféodera pas non plus au rationalisme, si on entend par là un système qui fixe au savant des cadres à priori dans lesquels les données devront entrer. Il consultera l'expérience telle qu'elle est, lui demandant « de nous orienter à travers la diversité des conceptions que les générations successives se sont faites de la causalité ». Il prendra donc la physique, avec ses progrès, ses tâtonnements, ses « crises » et ses tournants. Il réfléchira sur ces faits. Mais sa réflexion ne découvrira pas des concepts dont le contenu et le sens seraient intelligibles indépendamment de l'expérience ; elle constatera purement et simplement « la vie de l'esprit ».

Ce n'est donc pas à une philosophie de la nature que l'auteur aboutira, ni même à une philosophie de la science conçue à la façon de Kant ou d'Hamelin, c'est vers une philosophie de l'esprit, vers la formation d'une « conscience intellectuelle », que convergeront ses efforts. L'auteur se flatte d'avoir ainsi uni le positivisme véritable et le rationalisme, libéré de toute métaphysique, dans une synthèse supérieure, dans un « humanisme » nouveau, dont la caractéristique sera l'affirmation du progrès indéfini de l'intelli-

gence exploratrice de l'univers. En d'autres termes : l'objet d'expérience scientifique, le monde physique, n'est pas une pure donnée ; c'est une donnée élaborée par l'intelligence. Mais cette élaboration ne consiste pas, comme Kant l'avait pensé, dans une information déterminée. Il n'y a pas de catégories. Ou plutôt, à chaque bond que fait la science, une nouvelle catégorie fait son apparition, pour disparaître bientôt, chassée par un progrès nouveau dû à l'observation plus minutieuse. Et cette succession de catégories, il n'y a pas de règle qui la régisse. Il faut donc abandonner l'utopie d'une philosophie de la science. Seule une philosophie de l'esprit reste possible. Le théoricien de la connaissance, comme le dit excellemment M. Weber, « se bornera à prendre conscience de cette activité spirituelle (organisatrice de l'univers), à l'embrasser dans son ensemble et à la considérer d'un œil ouvert en même temps sur tout le reste de l'activité humaine ».

Il nous est impossible, dans ce bref compte rendu, de suivre l'auteur dans son immense inventaire des fluctuations successives du concept de causalité physique. Ce n'est d'ailleurs pas là que réside l'intérêt ni surtout l'originalité de son livre. Cet inventaire, d'autres l'ont dressé avant lui, et, à notre sens, avec plus d'ampleur, de clarté et de bonheur. Je ne citerai que E. Cassirer : *Das Erkenntnisproblem.*

Mais ce que nous voudrions faire, c'est répondre brièvement à la question suivante : La méthode de l'auteur est-elle efficace ? Conduit-elle, de droit, à une conclusion ?

Lorsque nous aurons assisté à la lutte entre l'anthropomorphisme de la causalité et le naturalisme, avec leurs conséquences de déduction et d'induction, lorsque nous aurons vu la mesure prendre peu à peu la place de la qualité et entendu M. Painlevé traduire le principe de causalité en langage de mécanique rationnelle, lorsque nous aurons ainsi « substitué définitivement une relation fonctionnelle à la connexion causale », aurons-nous vraiment rendu intelligible la causalité physique ? Sans doute, nous l'aurons ainsi rendue mathématiquement représentable et scientifiquement utilisable. Les savants peuvent s'en contenter, mais non les philosophes. En leur défendant de passer outre, M. Br. est victime du préjugé qu'il avait peut-être à cœur de détruire, le

préjugé rationaliste, qui prétend réduire toute connaissance à la connaissance claire de la représentation. C'est précisément par delà la représentation que jaillit la « vie de l'esprit ». Et voilà pourquoi la causalité phénoménale est inintelligible si elle ne s'appuie pas sur une causalité métaphysique, irreprésentable, peut-être, mais posée comme condition nécessaire du phénomène. Il se peut que M. Br. ait raison de reprocher à Kant son formalisme, mais il a certainement tort de transporter le débat sur le terrain métaphysique. Sa méthode d'historien ne l'autorisait pas à ce passage. Tout ce qu'il a réussi à démontrer, c'est que l'objet de connaissance s'est peu à peu différencié. L'être tel qu'il paraît fut la part de la science, l'être tel qu'il est celle de la métaphysique. Contre la causalité métaphysique, la méthode historico-critique est inefficace.

Donne-t-elle du moins des résultats appréciables sur le terrain de la causalité empirique ? Sans doute, elle a mis au jour un certain nombre de faits avec lesquels le philosophe devra compter. Elle a montré, et M. Br. y insiste avec quelque exagération, que les « crises rénovatrices des sciences ont été les seules crises utilement rénovatrices de la philosophie ». En suivant pas à pas les changements incessants du principe de causalité phénoménale, elle a rendu le penseur prudent devant l'affirmation de formes à priori. Mais elle n'a pas réussi, croyons-nous, à convaincre le philosophe qu'il devait se contenter de contempler et d'admirer la « vie de l'esprit ». Invinciblement le philosophe se dira qu'il y a, dans cette vie, une unité à découvrir ; et il cherchera, comme Hamelin, dans une analyse toujours plus profonde des « éléments de la représentation » un principe créateur ou du moins une règle unique des concepts et des axiomes fondamentaux de la science. Aura-t-il tort ? Nous ne le pensons pas. Mais il faudra, pour aboutir, que le chercheur ne rejette pas, à priori, toutes les notions métaphysiques. Si M. Br. n'avait pas traité la philosophie scolastique avec un peu trop de désinvolture, il aurait vu peut-être comment la détermination quantitative de la matière, pur principe d'altérité, devait aboutir un jour à une géométrie qui ignorerait l'espace et la distance et ne laisserait subsister que la distinction intrinsèque des éléments.

Nous ne savons pas si les efforts de M. Weber pour construire une psychologie de l'invention scientifique seront couronnés de succès, mais nous sommes certains que le but du devenir perpétuel des sciences peut être fixé, grâce à la métaphysique. Ce but, c'est la détermination de plus en plus exacte de l'intelligible métaphysique en termes de phénomènes. Jamais sans doute il ne sera atteint. Mais l'idée directrice sera éclairée et la raison satisfaite.

Nous regrettons que l'immense labeur de M. Br. n'ait pas abouti. Son système est un système hybride : l'inspiration en est rationaliste, la méthode le rapproche du pragmatisme. Seule la méthode transcendantale était ici de mise.

Ce résultat négatif était fatal. La connaissance scientifique et phénoménale posée comme un absolu, doit se détruire elle-même. La position de Kant est intenable : M. Br. l'a peut-être démontré. Mais alors pourquoi chercher à l'étayer par une méthode non appropriée ? Le rationalisme ne sera sauf qu'à condition de reconnaître la métaphysique. Seul le thomisme est un « humanisme » conséquent jusqu'au bout.

Nous regrettons donc l'inutilité relative de ce labeur. Nous regrettons plus encore que, dans une œuvre d'une si haute tenue scientifique, M. Br. ait cru devoir insinuer son opposition à la religion chrétienne et au dogme catholique. *Non erat hic locus.*

H. Thielemans, S. J.

XX. — Introduction a l'étude des hiéroglyphes, par H. Sottas et E. Drioton. — Un vol. de xvi-195 pages. — Paris, Geuthner, 1922.

Les fouilles récentes ont remis à l'ordre du jour le déchiffrement des écritures d'autrefois. Le xixe siècle a résolu l'énigme des hiéroglyphes, du cunéiforme, de l'écriture chypriote ; mais des problèmes nouveaux se sont posés dans les dernières années ; l'écriture hiéroglyphique hittite, les écritures hiéroglyphique et linéaire de Crète restent indéchiffrées, pour ne pas parler des courtes inscriptions de la péninsule sinaïtique. C'est dire qu'un ouvrage tel que celui de MM. Sottas et Drioton ne retiendra pas seulement l'attention des égyptologues, mais de tous ceux qui s'intéressent aux écritures orientales antiques.

Ce volume ne se laisse pas définir aisément ; ce n'est pas une grammaire destinée à guider le débutant dans ses premières tentatives de lecture ; ce n'est pas non plus uniquement un essai de vulgarisation expliquant aux profanes le mécanisme du déchiffrement. L'intention des auteurs paraît plus théorique, plus spéculative que pratique. Dans une première partie ils s'efforcent de dégager les principes essentiels du système hiéroglyphique non seulement dans son mécanisme matériel, mais aussi dans les tendances psychologiques qui l'ont créé et s'y expriment. C'est un exposé raisonné, offrant maints aperçus originaux et suggestifs, qui parfois quittent le domaine philologique pour entrer dans celui de la psychologie du langage. La seconde partie fait l'histoire de la connaissance des hiéroglyphes et des tentatives diverses de déchiffrement depuis l'adoption de l'alphabet copte jusqu'à la géniale découverte de Champollion : étude très fouillée, claire et complète, qui groupe et synthétise de façon très pédagogique une grande somme de renseignements. Le volume se termine (p. 116-163) par le tableau détaillé des principaux hiéroglyphes et des signes plurilitères, qui complète le tableau des signes unilitères donné dans les premières pages (p. XIV-XV).

L'exécution typographique de l'ouvrage est remarquable.

J. L.

XXI. — LES GRANDES ÉTAPES DE LA VICTOIRE, par le Lt-Colonel DE WITT-GUIZOT. — Un vol. in-8° de 224 pages, avec 19 cartes hors texte. — Paris, Berger-Levrault, 1923. — 10 fr.

La REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES a publié plusieurs travaux sur le rôle de la science et de la technique, pendant la guerre, et, dans les guerres futures, il est évident que les conquêtes scientifiques et industrielles joueront un rôle encore plus grand. D'autre part, ce serait une aberration que de vouloir séparer, intellectuellement, les opérations et les *fabrications* ; on ne peut plaquer une cloison étanche entre deux ordres de faits qui se commandent réciproquement.

Les techniciens ont besoin de connaître, dans ses grandes lignes, la guerre proprement dite !

A ce point de vue, nous voulons signaler l'histoire abrégée de la guerre de M. de Witt, ancien officier de l'armée active, capitaine d'infanterie, en 1914, Lt-Colonel de réserve, en 1918. Son exposé est clair et vivant. Beaucoup de faits sont condensés et reliés, qui nous font voir les évolutions successives de la bataille, de Charleroi à la Marne, de la Marne à l'Yser, puis en Champagne, à Verdun, de Verdun à la Somme, de la Somme à l'Aisne... Puis c'est le dernier quart d'heure : l'effort gigantesque et désespéré de Ludendorff, en 1918, et la riposte audacieuse, définitive, victorieuse de Foch.

Les situations et les hommes sont peints exactement, aussi bien les chefs militaires, les chefs civils, et la masse anonyme et glorieuse des poilus.

En deux cents pages, nous avons un excellent résumé, un tableau d'ensemble qui était, il faut le dire, difficile à brosser, si peu de temps après la secousse.

L'Université de Strasbourg (1) a eu la main heureuse, lorsqu'elle a choisi, pour ce travail, un bon soldat, petit-fils de Guizot.

R A.

XXII. — LE VANNEUR. Revue bibliographique de quinzaine et supplément au Catalogue de la Bibliothèque choisie. — Bibliothèque choisie, Louvain. — 15 francs par mille titres (appréciés) prêts à être collés sur fiches.

Tous ceux qui s'intéressent au développement et à l'amélioration de la lecture connaissent en Belgique la « Bibliothèque choisie », qui de Louvain et de Bruxelles rayonne dans la plupart des localités du pays. Son catalogue (2) donne des indications nettes et sûres concernant la valeur d'un grand nombre d'ouvrages. Le « Vanneur » était sa revue bibliographique, faisant la part du bon grain et de la paille ; la guerre vint brutalement le supprimer. Mais aujourd'hui, il renaît, plus condensé et plus pratique encore, pour rendre

(1) Cours libre professé à l'Université de Strasbourg, en 1921.
(2) *Encyclopédie de la lecture* (1911). 10 fr.

service aux bibliothécaires et à tous ceux qui doivent savoir des livres, surtout littéraires, qui paraissent, s'ils sont bons ou mauvais, intéressants ou quelconques.

Chaque numéro contiendra plus ou moins de feuillets, selon l'abondance des matières. Le classement des titres se fera d'après l'indexation usitée dans le catalogue ; le titre du livre sera suivi de toutes les indications usitées en bibliothéconomie. Des signes conventionnels le marqueront d'une des appréciations suivantes : Ouvrage pour la jeunesse — qui ne convient pas à tous — à la limite du permis — mauvais ou nul — que la Bibliothèque est disposée à accueillir si sa clientèle en manifeste un désir sérieux. Pour beaucoup d'œuvres, surtout pour les récentes, on ajoutera en une ligne une note caractéristique, signée en abrégé.

H. D.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS (1)

PRINCIPES ET PREMIERS DÉVELOPPEMENTS DE GÉOMÉTRIE GÉNÉRALE SYNTHÉTIQUE MODERNE. — Un vol. de VIII-218 pages (25 × 17). — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — Prix : 20.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

Chapitre préliminaire : Éléments d'arithmétique ordinale. — I. Notions de géométrie générale. 1) Les fondements de la géométrie générale. — 2) Formes fondamentales géométriques. — 3) La première position fondamentale d'alignement. — 4) La seconde position fondamentale d'alignement. — 5) Corrélations particulières et collinéation restreinte. — 6) Ponctuelles en relation de collinéation restreinte. — 7) Détermination de la collinéation restreinte de ponctuelles. — 8) Détermination de la collinéation restreinte n-aire. — 9. Perspective et homologie. — II. Étude de l'hexangle et notation de ses éléments. — III. L'hexangle pascalien. — IV. Éléments supérieurs de la configuration.

Georges Cuny. — UN THÉORÈME DE GÉOMÉTRIE ET SES APPLICATIONS. — Un vol. de VI-102 pages (25 × 17). — Paris, Vuibert, 1922. — Prix : 8.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

I. — Rapports anharmoniques. Transformations par polaires réciproques et par inversion. — II. Théorèmes généraux et quelques applications. — III. Application aux coniques. — IV. Applications aux cubiques et aux quartiques. — V. Extension du théorème général à l'espace. Quelques applications aux surfaces du second degré.

Eudoxe. — GÉOMÉTRIE PURE ET GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. — Un vol. de 32 pages (26 × 16). — Paris, Blanchard, 1923. — Prix : 2.00 francs.

Sections planes d'une sphère. — Paraboloïde hyperbolique : génératrices, contour apparent, intersection avec une droite. — Hyperboloïde de révolution : ombre, contour apparent. — Quadrique de révolution engendrée par une conique donnée. — Tangentes en un point double de l'intersection de deux cônes.

Th. Moreux. — POUR COMPRENDRE LA GÉOMÉTRIE DANS L'ESPACE. — Un vol. de VII-209 pages (18 × 12), avec 144 figures dans le texte. — Paris, Doin, 1923. — Prix : 8.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

I. Géométrie dans l'espace. — 1) Notions préliminaires. — 2) Les prismes et les pyramides. — 3) Les cylindres et les cônes. — La

(1) La REVUE mentionne dans cette liste les ouvrages envoyés à la Rédaction. Cette mention est, non une recommandation, mais un accusé de réception.

sphère : volumes divers. — II. Courbes usuelles : sections coniques. — 1) L'ellipse et les ellipsoïdes. — 2) La parabole et les tangentes. — 3) L'hyperbole. — 4) Un peu de géométrie analytique. — Tables diverses.

Borel Émile et **Deltheil Robert**. — PROBABILITÉS. ERREURS. — Un vol. de 197 pages (17 × 12) avec 10 figures. Collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1923. — Prix : 5.00 francs.

Ire partie : Éléments de la théorie des probabilités. — 1. Définitions et principes généraux. — 2. Les épreuves répétées et la loi des écarts. — 3. Les probabilités continues. — 4. Probabilités des causes.

IIe partie : Applications de la théorie des probabilités. — 5) Les problèmes statistiques et la biométrie. — 6) Les théories moléculaires.

IIIe partie : Erreurs d'observation. — 7) La loi de Gauss. — 8) La méthode des moindres carrés. — Bibliographie sommaire.

Louis Roy, professeur à la Fac. des Sc. de Toulouse. — L'ÉLECTRODYNAMIQUE DES MILIEUX ISOTROPES EN REPOS D'APRÈS HELMHOLTZ ET DUHEM. — Un vol. de 94 pages (20 × 12), de la Collection « Scientia ». — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 10.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

Introduction. — I. Généralités. — II. L'induction électrodynamique et électromagnétique. — III. L'énergie interne et les lois de l'aimantation. — IV. Les actions électrodynamiques et électromagnétiques. — V. Les équations générales de l'électrodynamique.

L. Silberstein. — ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE. Traduit de l'anglais par Georges Matisse. — Un vol. de IV-94 pages (19 × 12). — Paris, Gauthier-Villars, 1923. Prix : 6.00 francs.

Préface du Traducteur. Préface de l'Auteur. — I. Origine de la Théorie électromagnétique de la lumière. — II. Avantages de la Théorie électromagnétique sur la Théorie élastique. — III. Équations de Maxwell. Ondes planes. — IV. Réflexion et réfraction aux surfaces limites des milieux isotropes. **E** dans le plan d'incidence. — V. **E** perpendiculaire au plan d'incidence. Note sur la couche de passage. — VI. Réflexion totale. — VII. Optique des milieux cristallins : formules générales et théorèmes généraux. — VIII. Propriétés des axes électriques d'un cristal. — IX. Axes optiques. — X. Cristaux uniaxes. — Notes.

Maurice Gandillot. — L'ÉTHÉRIQUE. Essai de physique expérimentale. — Un vol. de VI-950 pages (25 × 16), avec 117 figures. — Paris, Vuibert, 1923. — Prix : 40.00 francs.

Note de l'éditeur. Extrait :

L'étude de l'éther montre ce que signifient, au fond, les principes de la Mécanique, et ce que sont, en soi, les grands agents physiques, gravité, chaleur, électricité, etc. On arrive ainsi à voir très simplement, par exemple, que la température absolue d'un corps peut s'exprimer par le nombre des kilogrammètres d'énergie *vibratile* contenus dans chacun des atomes-grammes composant le corps ; ou encore que, quand un courant électrique est défini en ampères et volts, on peut aisément calculer que le générateur débite à l'heure tant de grammes d'éther sous tel état élastique.

Georges Fournier, ingénieur des Arts et Manufactures. — LA RELATIVITÉ VRAIE ET LA GRAVITATION UNIVERSELLE. — Un vol. de 132 pages (25 × 16). — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 7.00 francs.

Examen des notions et des principes fondamentaux de Mécanique mis en cause. Examen critique de la théorie relativiste. Explication rationnelle du déplacement du périhélie de Mercure. Exposé « compréhensible à la fois pour tous les professeurs de sciences, pour les ingénieurs, pour les élèves des grandes écoles, et même pour ceux qui ont seulement suivi un cours de préparation à celles-ci ».

Corps (Lieutenant-Colonel). — LES THÉORIES DE LA RELATIVITÉ DÉPASSANT LES DONNÉES DE L'EXPÉRIENCE. — Un vol. in-4° de 43 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 3.50 francs.

L'objet de cette étude est de rechercher si le principe de la relativité et celui de la constance absolue de la vitesse de la lumière sont bien des conséquences nécessaires au résultat de l'expérience de Michelson et de Morley.

Stephan Christesco (Cap.). — SYSTÈMES CELLULAIRES DES MONDES. LA LUMIÈRE RELATIVE ET L'EXPÉRIENCE DE MICHELSON. — Une brochure de 48 pages (25 × 17), avec 8 planches dans le texte. — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 5.00 francs.

Nouvel examen de l'expérience de Michelson en rapport avec les systèmes : Kepler, Newton, Laplace ; Lorentz-Einstein-Minkowski ; et l'organisation cellulaire des mondes.

E. Reynaud-Bonin, Ingénieur des Postes et Télégraphes, Professeur à l'École Supérieure d'Électricité de Paris et à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes. — RADIOTÉLÉGRAPHIE, RADIOTÉLÉPHONIE, RADIOCONCERT. — Un vol. de 178 pages (23 × 14), avec 88 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 10.00 francs.

L'auteur examine rapidement la découverte des ondes électriques, les perfectionnements des procédés pour les engendrer et des antennes pour les rayonner, la propagation de ces ondes, les phénomènes atmosphériques qui les perturbent, etc. Il s'étend davantage sur la réception des ondes électriques, donne la description très complète des postes de réception, des appareils de syntonie, de détection et d'amplification. Il définit très exactement la modulation radiotéléphonique et les conditions d'une réception pure à timbre agréable. Il donne enfin un chapitre sur l'audition d'un téléphone haut-parleur.

G. Malgorn. — RADIOTÉLÉGRAPHIE ET RADIOTÉLÉPHONIE A LA PORTÉE DE TOUS. — Un vol. de 231 pages (23 × 14), avec 160 fig. — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 10.00 francs.

Note des éditeurs. Extrait :

Bien qu'il soit difficile de faire comprendre à des personnes sans connaissances sérieuses en électricité une science aussi complexe que la T.S.F., M. Malgorn y réussit grâce à la clarté de son exposé.

M. Le Besnerais, Ingénieur en Chef du Génie Maritime. — THÉORIE DU NAVIRE. — Tome I, avec 61 figures. Un vol. de 162 pages (17 × 12). — Collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1923. — Prix : 5.00 francs.

Ce sont les résultats de l'étude des conditions de stabilité des navires, au perfectionnement de laquelle il a pris la plus grande

part, que M. le Besnerais nous présente dans ce petit livre où les constructeurs trouveront aussi sûrement que dans des traités volumineux, encombrants et coûteux, tout l'essentiel de la « Théorie du Navire », toutes les formules qui sont appliquées dans sa construction.

Maurice Larrouy, Lieutenant de vaisseau de réserve, Ingénieur de l'École supérieure d'aéronautique, Pilote d'Aéronat, Ancien Commandant de centres d'Aviation. — LE BALLON ET L'AVION, LA ROUTE AÉRIENNE. — Un vol. de 216 pages (17 × 12) avec 25 figures. — Collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1923. — Prix : 5.00 francs.

M. Larrouy a su se garder d'un double écueil : évitant de faire usage d'un vocabulaire trop spécial, écrivant simplement et clairement, il vulgarise. Il donne aux techniciens, quelle que soit la branche de l'aéronautique dans laquelle ils sont spécialisés, les formules essentielles et les précisions utiles.

A. Leduc, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. — VOLUMES MOLÉCULAIRES. APPLICATIONS. — Un vol. de 120 pages (19 × 12) avec figures. — Paris, Doin, 1923. — Prix : 8.00 francs.

Note de l'éditeur. Extrait :

M. Leduc établit d'abord une équation d'état fondée sur ses propres expériences et sur l'idée d'états correspondants, et caractérisée par l'introduction du volume moléculaire relatif (par rapport au gaz parfait). Cette formule sert de base à la méthode qu'il a fondée il y a trente ans pour déterminer avec précision les masses moléculaires et quelques poids atomiques.

L'ingénieur et le chimiste, aussi bien que le physicien, trouveront dans ce petit livre non seulement de nombreux renseignements numériques, mais aussi les formules au moyen desquelles ils pourront en calculer une infinité d'autres en toute sécurité.

W. Mund, Professeur à l'Université de Louvain. — ÉLÉMENTS DE CHIMIE PHYSIQUE. 2e Partie : Théorie des transformations moléculaires et atomiques. — Un vol. autographié de 405 pages (25 × 17). — Louvain, Uystpruyst, 1923.

Extrait de la Table des Matières :

I. Les équilibres chimiques dans les systèmes homogènes, abstraction faite de l'influence de la température. — II. Les principes de l'électrochimie. — III. Notions de photochimie. — IV. Les colloïdes. — V. Théorie des transformations atomiques.

Howard C. Warren. — PRÉCIS DE PSYCHOLOGIE. — Un vol. de 448 pages (23 × 14). Version française par Louis Cunault et Étienne Maigre. — Paris, Rivière, 1923. — Prix : 16.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

I. La psychologie considérée comme science. — II. L'organisme. — III. Le mécanisme neuro-terminal. — IV. Physiologie du neurone. — V. Stimulation, ajustement et réponse. — VI. Le comportement. — VII. Le comportement (suite). — VIII. L'expérience consciente. — IX. Les sens. — X. Les sens (suite). — XI. Les éléments des états de conscience. — XII. États mentaux primaires. — XIII. États mentaux primaires (suite). — XIV. États mentaux secondaires. — XV. États mentaux secondaires (suite). — XVI. Succession des états de conscience. — XVII. Les attitudes. — XVIII. Les attitudes

(suite). — XIX. La vie mentale organisée. — Résumé général. — Appendice. — Conseils sur la manière d'exécuter les exercices.

Joseph Froebes (S. J.). — LEHRBUCH DER EXPERIMENTELLEN PSYCHOLOGIE. Ier Band. 2e und 3e gearbeitete Auflage. — 3r – 6r Tausend, mit 64 Textfiguren und einer farbigen Tafel. — Un vol. de XXVIII-630 pages (26 × 17). — Fribourg en Brisgau, Herder, 1923. — Prix : 24.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

Einleitung : Ziel und Wege der empirischen Psychologie. — I. Die Empfindung im allgemeinen. — II. Die einzelnen Empfindungen und sonstigen Elemente. — III. Die Wahrnehmungen. — V. Psychophysik. — V. Assoziation der Vorstellungen.

L. A. Reid, M. A, lecturer on philosophy in University College of Wales. — KNOWLEDGE AND TRUTH. AN EPISTEMOLOGICAL ESSAY. — Un vol. de 243 pages (22 × 15). — Londres, Macmillan, 1923. — Prix : 10 shellings 10 pence.

Contents. — I. Introduction. — II. The coherence view of Truth. — III. American new realism, truth and error, — IV. Prof. Alexander's theory of truth and error. — V. Mr Russell's theories. — VI-VII. Critical realism and the sense datum. — VIII. Knowledge, truth and error. — IX. Non-propositional truth. — Index.

C. Spearman, Grote professor, University of London. — THE NATURE OF « INTELLIGENCE » AND THE PRINCIPLES OF COGNITION. — Un vol. de 358 pages (22 × 15). — Londres, Macmillan, 1923.

Contents. — Part I. Historical and critical. 1. « Intelligence » in modern psychology. 2. Need of psychological ultimate laws. — Part II. Constructive. 3. « Sensation » and its antecedents. 4. First principle, apprehension of experience. 5. Second principle, eduction of relations. 6. Varieties of relation-educing. 7. Third principle, eduction of correlates. 8. Some special cases of eduction. 9. Quantitative principles. 10. Reproduction and correlate-eduction. 11. Clearness, differentiation, and subconsciousness. 12. Thought and sentience. 13. A great illusion. 14. Experiments in objectivating. — Part III. Application. 15. Perception and movement. 16-18. The intellect : conception ; judgment ; reasoning. 19. Memory. 20. Imagination. 21. Summary and outlook. — Index of names.

A. Damiens, Professeur agrégé à la Faculté de Méd. de Paris. — LES ISOTOPES. Préface de J. Perrin. — Un vol. de 118 pages (25 × 16) avec 33 fig. — Paris, Gauthier-Villars, 1923. — Prix : 12 francs.

Extrait de l'Introduction :

« Vue d'ensemble de la question, en examinant avec détails les faits d'expérience, en montrant leur valeur relative, à côté des conclusions qui en ont été tirées. Le travail ainsi réalisé peut être justifié d'abord en ce qu'il constitue une documentation complète, et aussi en ce qu'il est susceptible de faciliter et d'aider des recherches nouvelles dans un domaine où il est souhaitable que les expériences soient multipliées le plus possible par des expérimentateurs très nombreux ».

René Sornet. — LA TECHNIQUE INDUSTRIELLE DES PARFUMS SYNTHÉTIQUES. — Un vol. de VII-136 pages (23 × 14), avec préface de Marcel Delépine. — Paris, Gauthier-Villars, 1923.

Manuel de préparation des parfums. — Fabrications actuelles des parfums et des produits intermédiaires. — Données techniques et description de nouveaux brevets.

Henrique Morize. — CONTRIBUIÇAO AO ESTUDO DO CLIMA DO BRASIL. — Un vol. de VI-118 pages (23 × 30). — Rio de Janeiro. Imprensa Nacional, 1922.

Trabalho extrahido do Diccionario Historico, Geographico e Ethnographico do Brasil.

Indice : I. Estado do tempo e clima. — II. Influencia do clima sobre a vida. — III. Influencia hygienica e social dos factores climatericos. — IV. Classificaçao dos climas. — V. Doclimogramma.

Descripçao dos climas do Brasil : VI. Clima equatorial, typo super-humido do littoral. — VII ..... typo continental. — VIII. ..... typo semi-arido. — IX. Chuvas de inverno. — X. Pressaô barometrica. — XI. Clima subtropical, typo semi-humido maritimo. — XII. ....., typo semi-humido continental. — XIII. Clima temporado brando, typo super-humido do littoral. — XIV. ..... typo semi-humido do interior. — XV. ..... typo semi-humido de altitude.

Conclusoês. Quadros synopticos. — Relaçâo das estaçôes météorologicas comprehendidas nas quadras synopticas.

Marcellin Boule. — LES HOMMES FOSSILES. Éléments de paléontologie humaine. 2e édition revue et augmentée. — Un vol. de 505 pages (24 × 17) avec 248 fig. dans le texte et hors texte. — Paris, Masson, 1923.

R. Bruynoghe. — L'IMMUNITÉ ET SES APPLICATIONS. 3e édition. — Un vol. de 311 pages (25 × 17). — Louvain, Uystpruyst ; Paris, Baillière, 1923.

Table des Matières. Extrait :

I. Aperçu général sur l'immunité. — II. Les vaccinations. — III. Vaccinothérapie. — IV. Sérothérapie. — V. Les agglutinines. — VI. Les précipitines. — VII. Hémolysines. — VIII. La déviation de l'alexine. — IX. La réaction d'Abderhalden. — X. L'anaphylaxie. — XI. Les réactions locales.

Georges Dumas. — TRAITÉ DE PSYCHOLOGIE. Préface de Th. Ribot. Avec la collaboration de MM. L. Rabat, G. Belot, Ch. Blondel, B. Bourdon, F. Challaye, Ph. Chaslin, Ed. Claparède, J. Dagnan, G. Davy, H. Delacroix, L. Dugas, P. Janet, A. Lalande, J.-P. Langlois, L. Lapicque, A. Mayer, I. Meyerson, H. Piéron, G. Poyer, Et. Rabaud, G. Revault d'Allonnes, A. Rey, A. Tournay, H. Vallon. — Tome premier. Un vol. de VIII-967 pages (23 × 14). — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 40.00 francs.

Henri Piéron, Professeur à l'Institut de Psychologie de l'Université de Paris, Directeur du laboratoire de Psychologie physiologique de la Sorbonne. — LE CERVEAU ET LA PENSÉE. — Un vol. de IV-328 pages (19 × 12), de la « Nouvelle Collection Scientifique ». — Paris, Alcan 1923. — Prix : 10.00 francs.

Sur les fonctions propres de l'écorce cérébrale et le rôle des centres sous-corticaux, sur la signification exacte des localisations dans les processus sensori-moteurs ou le mécanisme du langage, sur cette régulation affective, d'ordre « paléomental », de la vie intellectuelle, si longtemps méconnue, on trouvera dans ce livre des exposés précis et des aperçus suggestifs.

Édouard Jung. — Le Principe constitutif de la Nature organique. — Un vol. de 694 pages (23 × 14), de la « Bibliothèque de Philosophie Contemporaine ». — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 30.00 francs.

Note de l'éditeur. Extrait

L'ouvrage expose des vues nouvelles, rationnelles et déterministes sur les diverses fonctions appelées à ressortir de la biologie générale. Mais il s'attache surtout à élaborer un principe de rapport entre ces fonctions, entre la nature phsysiologique des êtres, l'instinct primaire (des inférieurs), l'instinct supérieur (des vertébrés), l'intelligence, le sens moral, et le sens esthétique, toutes fonctions étant vues dans l'individu comme spécimen de l'espèce.

Philippe Méditch. — La théorie de l'Intelligence chez Schopenhauer. — Un vol. de 363 pages (14 × 23), de la « Bibliothèque de Philosophie contemporaine ». — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 15.00 francs.

Extrait de la Table des Matières :

I. Analyse de l'Intelligence. — II. Genèse de l'Intelligence et sa destination originelle. — III. Rapport de l'Intelligence avec la Volonté. — IV. Intelligence dans l'Esthétique. — V. Intelligence dans la morale.

Albert Mary. — Les horizons du Physicisme. — Esquisses de Philosophie biologique et plasmogénique. — Un vol. de IX-53 pages (20 × 13). — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 6.00 francs.

Table des Matières :

I. Vie organique et vie générale. — II. Le physicisme médical. — III. Le relativisme biologique. — IV. La structure de l'Univers et la Plasmogénie. — V. Le Dualisme phénoménal : Chaos et harmonie.

Descamps (Baron). — Le Génie des Religions. Les origines, avec un essai de protologie scientifique sur la vérité, la certitude, la science et la civilisation. — Un vol. de 712 pages (25 × 17). — Paris, Alcan ; Bruxelles, Dewit, 1923. — Prix : 20.00 francs.

Extrait de la table des Matières :

Introduction. — Essai liminaire. Vérité. Certitude. Science. Civilisation. — I. Le fait religieux envisagé à la lumière de l'expérience générale. — II. Les faux points de vue concernant l'origine du phénomène religieux. — III-VIII. Le phénomène religieux à la lumière des traditions archaïques de l'humanité ; de l'anthropologie racique ; de l'archéologie préhistorique ; de la paléontologie linguistique ; de l'ethnologie ; de la raison.

Arundel Cotter. — La Corporation de l'Acier aux États-Unis. Étude industrielle, économique et sociale. Traduit de l'anglais par André Aude. — Un vol. de 239 pages (22 × 14), avec planche-photo hors texte. — Paris, Vuibert, 1923. — Prix : 10.00 francs.

Note de l'éditeur. Extrait :

Cette histoire, captivante comme un roman, de la plus grande entreprise du monde entier (au capital de plus d'un milliard et demi de dollars) intéressera non seulement les industriels et les financiers, mais encore tous ceux que préoccupe l'amélioration des rapports du capital et du travail.

On remarquera avec intérêt la part immense prise par la grande

compagnie dans l'armement des Alliés durant la guerre de 1914-1918, ainsi que l'essai de stabilisation des prix de vente de la métallurgie par lequel elle s'est efforcée de lutter contre le renchérissement de la vie.

Enfin, le lecteur verra par quelle série de moyens pratiques elle a réussi à intéresser directement ses ouvriers à sa prospérité.

Théo Snyers. — L'INFLATION FIDUCIAIRE EN ALLEMAGNE. Dissertation pour l'obtention du grade scientifique de Docteur en Sciences commerciales. — Un vol. de 163 pages (24 × 16). — Liége, Printing C°, 1923.

Table des Matières. Extrait:

I. Un coup d'œil sur le passé. — II. L'inflation fiduciaire en Allemagne. — III. Les prix en Allemagne. — IV. Effets généraux de la dépréciation monétaire. — V. L'agriculture. — VI. Les banques et la bourse. — VII. La situation actuelle de l'industrie. — VIII. Le commerce. — IX. Les finances publiques. — Conclusion.

Th. Moreux (Abbé). — LA SCIENCE MYSTÉRIEUSE DES PHARAONS. — Un vol. de 250 pages (19 × 12), avec fig. dans le texte et 8 pl. hors texte. — Paris, Doin, 1923. — Prix : 7.00 francs.

Table des Matières :

I. Le secret du Sphinx. — II-IV. Les révélations numériques; géodésiques ; astronomiques de la Grande Pyramide. — V. A travers la Science antique. — VI. L'optique des Anciens. — VII. A la lueur des étoiles. — VIII. Traditions philosophiques et historiques. — — IX. Les traditions scientifiques. — X. Science et cosmogonie.

Dubois (S. Em. le Cardinal, archevêque de Paris). — LA CRISE DE LA NATALITÉ EN FRANCE. — Une brochure de 32 pages. — Paris, Bonne Presse, 1923. — Prix : 0.30 francs.

Chauvin (Mgr, Évêque d'Evreux). — DES ÉTUDES ET DE LA FORMATION DES CLERCS DANS NOS SÉMINAIRES. — Une brochure de 48 pages. — Paris, Bonne Presse, 1923. — Prix : 0.30 francs.

Coromines Pierre. — LA VIE AUSTÈRE. Traduit du catalan par Charles Romeu, avocat, Viguier d'Andorre. — Un vol. de 335 pages (23 × 14). — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 7.50 francs.

Table des Matières :

Note du traducteur. Introduction. Histoire de cet ouvrage. — I. L'aube de la vie. — II. Les jours heureux de la jeunesse. — III. La sainteté humaine. — IV. Les délices de la terre. — V. La mort austère.

Jean Finot. — PRÉJUGÉ ET PROBLÈME DES SEXES. 8e édition. — Un vol. de 524 pages (23 × 14). — Paris, Alcan, 1923. — Prix : 20.00 francs.

Entre l'homme et la femme. — L'évolution des sexes. — La femme devant la science. — La naissance de la femme nouvelle. — La philosophie du mouvement féministe. — La mort de l'éternel féminin. — La beauté de la femme nouvelle. Les frontières sexuelles.

« Établissements F. CEUTERICK », rue Vital Decoster, 60, Louvain.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

QUATRIÈME SÉRIE

TOME IV — 20 JUILLET 1923

(QUARANTE-DEUXIÈME ANNÉE ; TOME LXXXIV DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(MM. F. Willaert et H. Dopp)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11
Compte chèques postaux 38022

1923

LIVRAISON DE JUILLET 1923

I. BERNARD COMTE DE MONTESSUS DE BALLORE, par **M. A. Renier**, p. 5.

II. LE TRAVAIL DES MINES A L'AGE DE LA PIERRE, par le **R. P. Pierre Charles, S. J.**, p. 23.

III. LA QUERELLE DES ZODIAQUES, par **M. C. Lagier**, p. 48.

IV. RADIATIONS ET QUANTA, par **M. Z. Carrière**, p. 72.

V. L'INCOMPARABLE RÉACTION. L'ASSIMILATION DU CARBONE PAR LES PLANTES VERTES, par **M. H. Colin**, p, 115.

VI. LES FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE LA SÉLECTION PROFESSIONNELLE, par **M. J. Wilbois**, p. 139.

VII. VARIÉTÉS. — I. *Antonio Favaro (1847-1922)*, par **M. H. Bosmans**, p. 156. — II. *Les génératrices de courant dans les grandes stations modernes de télégraphie sans fil*, par **M. M. Demanet**, p. 175.

VIII. REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Astronomie 1922, par **M. M. Alliaume**, p. 187.

IX. BIBLIOGRAPHIE. — I Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications, par Ricci et Levi-Civita, p. 231, **I. P.** — II. Géodésie élémentaire, par R. Bourgeois et H. Noirel, p 231. **M. Alliaume.** — III. Cours de Mécanique céleste, tome I, par H. Andoyer, p. 235, **M. O.** — IV. Dynamique des solides, gyroscopes, par J. Reveille. p. 268, **C. de la Vallée Poussin.** — V. Introduction à la théorie de la relativité. Calcul différentiel absolu et géométrie, par H. Galbrun, p. 241 ; Exposé général du principe de relativité et des théories d'Einstein, par E. Barré, p. 244, **Ph. du P.** — VI. The mathematical theory of relativity, par A. S. Eddington, p. 248 ; Les divers aspects de la théorie de la relativité. par J Villey, p. 249 ; La question préalable contre la théorie d'Einstein, par H. Bouasse, p. 250 ; Interférences, par H. Bouasse et Z. Carrière, p. 251 ; La constitution des atomes et les raies spectrales, par A. Sommerfeld, p. 253 ; Cours de physique générale, tome 3, par H. Ollivier, p. 257, **H. Dopp.** — VII. Comment recevoir la téléphonie sans fil, par J. Roussel, p. 258, **J. D.** — VIII. Les isotopes, par F. W. Aston, p. 258 : La pratique électrochimique, par E. Muller, p. 259, **W. Mund.** — IX. Les rayons d'électricité positive et leur application, par J. J. Thomson, p. 260 ; **J. Pauwels, S. J.** ; Méthodes actuelles d'expertise employées au laboratoire municipal de Paris et Documents sur les matières relatives à l'alimentation par A. Kling, p. 262, **F. S.** ; Les progrès de la chimie en 1920, t. 2 et 3, trad. par A. Kling, p. 264 ; Manual de Quimica moderna teorica y experimental con sus principales aplicaciones al comercio y a la industria, par E. Vitoria, S. J., p. 266, **J. Pauwels. S. J.** — X. La théorie de l'allotropie, par A. Smits, p. 267, **M. Lecat.** — XI. Les doctrines chimiques en France du début du XVII à la fin du XVIII siècle, par H. Metzger, p. 269, **P. C.** — XII Notions élémentaires de cristallographie géométrique et optique, de minéralogie et de pétrographie, par H. Buttgenbach, p. 270 ; Abrégé de géographie physique, par E. de Martonne, p. 271 ; Pour comprendre les paysages de la France, par F. Maurette, p. 273 ; Guide to the University Botanic Garden, Cambridge. par H. G. Carter, p. 273, **G. Schmitz, S. J.** — XIII. Le mécanisme de l'hérédité Mendélienne, par Th. Morgan, A. H. Sturtevant, H. J. Muller, C. B. Bridges, p. 274, **R. D.** — XIV. Eugénique et sélection, par E. Apert, L. Cuénot, Darwin, F. Houssay, L. March, G. Papillaut, Ed. Perrier, C. Richet, G. Schreiber, p. 276, **V. Fallon, S. J.** — XV. Les origines du monde, de l'énergie, de la vie, des espèces, de l'homme, par J. Guibert et L. Chinchole, p. 279 ; Les institutions des primitifs australiens, par N. Ivanitzky, p. 281, **P. Charles.** — XVI La mécanique psychique, par W. J. Crawford, p. 281 ; La connaissance supra-normale, par E. Osty, p. 283 ; La subconciencia, par R. del Valle y Aldabalde, p. 286 ; Défense organique et centres nerveux, par P. Bonnier, p. 286, **J. Maréchal, S. J.** — XVII. L'étude comparée des religions, par H. Pinard de la Boulaye, S. J., p. 288. **J. Maréchal. S. J.** — XVIII. Où va le monde ? par W. Rathenau, p. 289, **A. M.** — XIX. L'expérience humaine et la causalité physique, par L. Brunschvicg. p. 294, **H. Thielemans, S. J.** — XX Introduction à l'étude des hiéroglyphes, par P. Sottas et Drioton, p. 297, **J. L.** — XXI, Les grandes étapes de la victoire, par de Witt-Guizot, p. 298, **R. A.** — XXII. Le Vanneur, p. 299, **H. D.**

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS, p. 301.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20,00**
t. XL à XLII, 1921 à 1923. Chaque vol. . . . . fr. **30,00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3,00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, 1902 à 1921. Trente volumes. Quatrième série commencée en 1922. Les deux volumes annuels, in-8°, avant 1920, fr. **20,00** ; à partir de 1920, fr. **40,00**.

Le fascicule trimestriel, avant 1920, fr. **6,00** ; à partir de 1920, fr. **10,00**.

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de . fr. **5,00** (pour les abonnés 2 fr.)

TABLE ANALYTIQUE des volumes de la troisième série de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. (Tomes LI à LXXX — 1902-1921). Un vol. in 8° de X-162 pages. Prix : **7 francs** (pour les abonnés 6 fr.).

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11,25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1,00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905) . . fr. **2,00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé) (1). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. —**T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J.- *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0,75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908). fr. **0,75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4,00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4,00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3,00**

---

(1) On peut trouver les articles de ce premier volume épuisé dans les livraisons d'avril et juillet 1906 de la *Revue des Questions scientifiques*

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

QUATRIÈME SÉRIE

Cette revue, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de trois séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901) ; la **troisième**, 30 volumes (1902-1921). La livraison de janvier 1922 inaugure la **quatrième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

La **troisième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **37 francs** par an pour la Belgique, **39 francs** pour la France et **44 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles jouissent d'une réduction de **5 francs**.

L'abonnement court jusqu'à ordre contraire.

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Table analytique des volumes de la troisième série, (51e à 80e de la collection 1902-1921). Un volume du format de la REVUE de X-162 pages. Prix : 7 francs ; pour les abonnés, 6 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'*Administration *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.* Compte chèques postaux n° 38022.

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. « Établissements F. Ceuterick », rue Vital Decoster, 60.

AMNH LIBRARY
100226284